

This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problem Mailbox.**

(19)日本国特許庁 (J P)

(12)公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平9-80333

(43)公開日 平成9年(1997)3月28日

(51)Int.Cl.<sup>6</sup>

G02B 26/10

識別記号

庁内整理番号

F I

G02B 26/10

技術表示箇所

D

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全17頁)

(21)出願番号

特願平7-236921

(22)出願日

平成7年(1995)9月14日

(71)出願人 000001270

コニカ株式会社

東京都新宿区西新宿1丁目26番2号

(72)発明者 小林 雅也

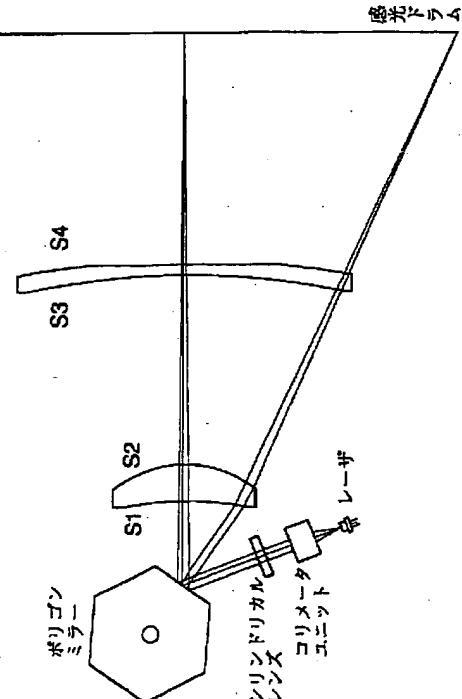
東京都八王子市石川町2970番地コニカ株式  
会社内

(54)【発明の名称】走査光学系

(57)【要約】

【目的】 黒筋の発生を防止するレーザ光学系の走査光学系を提供する。

【構成】 光源から発する光束が入射光学系を介して偏向器で偏向され、走査光学系を介して被走査媒体に結像する光学系において、透過率が光軸周辺ではほぼ1番大きく、走査方向に光軸から離れるに従い、透過率が小さくなるような強度分布変更手段を入射光学系に備える。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 光源から発する光束が入射光学系を介して偏向器で偏向され、走査光学系を介して被走査媒体に結像する光学系において、透過率が光軸周辺ではほぼ1番大きく、走査方向に光軸から離れるに従い、透過率が小さくなるような強度分布変更手段を入射光学系に備えていることを特徴とする走査光学系。

【請求項2】 前記強度分布変更手段が強度分布変更フィルタであることを特徴とする請求項1記載の走査光学系。

【請求項3】 前記強度分布変更手段が入射光学系内の光学素子のコート膜であることを特徴とする請求項1記載の走査光学系。

【請求項4】 前記強度分布変更手段の透過率分布は走査方向にのみ存在し、副走査方向については透過率分布が均一であることを特徴とする請求項1, 2又は3記載の走査光学系。

【請求項5】 前記強度分布変更手段に入射する有効光束の走査方向の端部に相当する振幅透過率を  $T_{max}$  として、光軸周辺での振幅透過率を  $T_0$  とすると以下の関係を満たす強度分布変更手段を設定したことを特徴とする請求項1記載の走査光学系。

$$T_{max}/T_0 \leq 0.3$$

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、レーザ光源を備えたレーザ光学系に係わり、特にレーザプリンタ、デジタル複写機等に使用されるレーザ光学系による走査光学系に関する。

## 【0002】

【従来の技術】 レーザプリンタ、レーザFAX、デジタル複写機等の普及に伴い、走査光学系はますます安価でしかもコンパクト、高性能なものが要求されつつある。そのため、最近はレーザプリンタ等の走査光学系においても、レンズ枚数を減らし、又コンパクト化のために非球面レンズが多用されるが、この非球面レンズを安価に得るためにプラスチックレンズの利用が不可欠になっていいる。

【0003】しかし、プラスチックレンズは樹脂成形用金型により製造されるため、金型の加工精度が非常に重要で、超高精度な加工精度が要求され、又成形技術も高度なものが要求されている。レーザ光学系による走査光学系に使用されるプラスチックレンズも、同様に非常に高精度なものが要求されてはいるが、必ずしも満足のいくものが提供されてはいなかった。

## 【0004】

【発明が解決しようとする課題】 しかしながら、最近レーザプリンタ等のさらなる高解像度化、高濃度階調化に伴い走査光学系への性能向上の要求はさらに厳しくなりつつある。

【0005】 例えば、図1のような走査光学系において、S4面が1部に図2(a)のようなPV0..05μm以上PV0..1μm以下の部分的なうねりが主走査方向に存在するタイプAのような金型面であると、印字結果において、ハーフトーン印字の時だけ、うねりに対応する部分に副走査方向の黒筋が発生する場合がある。

又、図2(a)の面とは違う同じ位置で、図2(b)のようなうねりの少ない形状パターンのタイプBの金型面であると、あまり黒筋は発生しない。

【0006】 又このとき、前記面上のうねりに対応する像面でのビーム径をみると、印字における黒筋と対応をとることができる。一般的な走査光学系のビーム径評価法は、図3のように像面におけるビーム強度分布（以後ビームプロファイルと言う）に対して、最大強度に対して  $1/e^2$  (13.5%) の強度における径（以後クリップレベル13.5%と言う）を測定しているが、通常これは解像度評価として用いており、印字黒筋の状態を顕著に表すことは難しい。

【0007】 しかし図3のように、ビームプロファイルにおいてクリップレベルを13.5%より下げて測定を行うと、印字における黒筋に対応することができる。

【0008】 前記タイプA、タイプBについて図2(a), (b)に相当する像高(+85mmから+125mm)に対して像高1mmピッチ、クリップレベル4%, 6%, 8%, 10%, 13.5%で測定した結果を図4~7に示す。

【0009】 ここで図4, 5は各々、面がタイプAの時の、主走査、副走査測定結果、図6, 7は各々、面がタイプBの時の、主走査、副走査の結果である。

【0010】 主走査方向のタイプA、タイプBのビーム径測定結果、図4, 6を比較すると、クリップレベル13.5%のビーム径については、あまり大きな変化は見られないが、クリップレベル4%から8%で見るとタイプAのビーム径は大きく変動して、それに比べてタイプBの変動は少ない。

【0011】 これは、面のうねりの測定結果（図2(a), (b)）とまた印字結果と対応が取れている。また、副走査方向については、図5, 7を見て分かる様にクリップレベルを下げても大きなビーム径変化は見られない。

【0012】 以上の結果から、印字における黒筋は面の部分的なうねりが像面における主走査方向のビームプロファイルに影響を及ぼし、その微妙なビーム形状の変化が黒筋の要因となっていることが予想される。

【0013】 このため、さらに部分的なうねりをPV0..05μm以内に押さえるように加工技術の高精度化を計らなければならないが、この場合加工機の限界の領域となり、少なくとも10nm以内の精度の加工機が必要となる。又今後、さらに高階調の感光体の開発が見込まれ、さらに要求精度は厳しくなってくる可能性があ

り、プラスチックレンズで要求精度を満たすには限界であった。

【0014】本発明は、前記課題を解決するためになされたものである。即ち、このような状況において、本発明は黒筋の発生を防止するレーザ光学系の走査光学系を提供することを目的としたものである。

【0015】

【課題を解決するための手段】前記目的は、下記構成を探すことによって達成される。

【0016】(1) 光源から発する光束が入射光学系を介して偏向器で偏向され、走査光学系を介して被走査媒体に結像する光学系において、透過率が光軸周辺ではほぼ1番大きく、走査方向に光軸から離れるに従い、透過率が小さくなるような強度分布変更手段を入射光学系に備えていることを特徴とする走査光学系。

【0017】(2) 前記強度分布変更手段が強度分布変更フィルタであることを特徴とする前記(1)記載の走査光学系。

【0018】(3) 前記強度分布変更手段が入射光学系内の光学素子のコート膜であることを特徴とする前記(1)記載の走査光学系。

【0019】(4) 前記強度分布変更手段の透過率分布は走査方向にのみ存在し、副走査方向については透過率分布が均一であることを特徴とする前記(1), (2)又は(3)記載の走査光学系。

【0020】(5) 前記強度分布変更手段に入射する有効光束の走査方向の端部に相当する振幅透過率を  $T_{max}$  として、光軸周辺での振幅透過率を  $T_0$  とすると、 $T_{max}/T_0 \leq 0.3$  の関係を満たす強度分布変更手段を設定したことを特徴とする前記(1)記載の走査光学系。

【0021】

【作用】請求項1に係わる作用は、均一な光量分布の光が入射すると、像面においてビームプロファイル形状はサイドロープが無収差の状態でも、ある程度の強度で発生する。このため、残留収差が残って、しかも光束がうねりの存在する屈折媒体(レンズ)を通ると、うねりの位相の変化に応じてコマ収差が変動して、サイドロープの強度が変動する。これが黒筋の原因となる。

【0022】そこで、光軸周辺の強度が最大で光軸からはなれるに従い、強度が小さくなる光が入射すると、無収差の状態ではビームプロファイルサイドロープは小さくなる。このため、ある程度の残留収差が存在してうねりが存在しても、黒筋発生に対して許容できる屈折媒体の面のうねりのPV値を大きくできる。

【0023】又黒筋の発生は、走査方向の屈折媒体のうねりによる影響によることが大きいことが実験的に分かっている。

【0024】以上のことから、透過率が光軸周辺ではほぼ1番大きく、走査方向に光軸から離れるに従い、透過

10

率が小さくなるような強度分布変更手段を用いることは有効である。

【0025】請求項2に係わる作用は、強度分布変更手段が強度分布変更フィルタであると、配置も容易で光学系も簡単にできる。

【0026】請求項3に係わる作用は、入射光学系内の光学素子のコート膜を前記強度分布変更手段とすることにより、部品点数を増やさずにすみ、コスト的メリットが大きい。

【0027】請求項4に係わる作用は、走査方向にのみ透過率分布をつけることにより、よりコストダウンとなる。

【0028】請求項5に係わる作用は、 $T_{max}/T_0 \leq 0.3$  とすることにより、ビームプロファイルにおけるサイドロープがより小さくなり、多様な感光体にも対処でき、光学系内の残留収差及び屈折媒体に微小なうねりのPV値に対しても黒筋発生に対する許容幅が大きくなる。

【0029】

【実施例】以下に実施例を示す。先ず、実施例の効果を説明するために用いた強度分布変更手段の検証法(シミュレーション法)について説明する。

【0030】\*検証法

検証法としては、走査光学系を簡単なモデルにおきかえ、ビームプロファイル(PSF:点像分布関数)を算出する。

【0031】以下にその手法を説明する。

【0032】(1) PSF(ビームプロファイル)の算出法

30

実際に光学面の部分的なうねりがビームプロファイルにどのように影響するか解析するため簡単なモデルを考えた。このモデルを図8に示す。

【0033】これは走査レンズの主走査方向について想定し、そのパワーを集約した理想レンズLと、このレンズと像面の間に配設される厚さが極めて薄い、連続的な正弦波を想定した面のうねりを想定した、位相媒体を置いた2次元モデルである。

【0034】尚、副走査方向については図5、図7の結果からみてわかるように、印字時において黒筋発生にはほとんど影響を及ぼさないため、考慮にいれない。また、レンズの直前には幅2Dのスリットがあり、そのスリットを通るビームはレーザを想定してガウス分布の強度分布を持つ平行光が入射する。また、この入射光にはコリメータからの射出光の収差や走査光学系内で設計値として存在する収差をまとめた波面収差を想定している。

【0035】このときのスリットの座標系を  $x_1$ 、位相媒体の座標系を  $x_2$ 、像面の座標系を  $x_3$  とする。また、ガウシアンビームの振幅分布を  $G(x_1)$ 、スリットの窓関数を  $\Pi(x_1/D)$ 、スリットにおける波面収差を  $W_1(x_1)$ 、位相媒体による振幅分布変化を  $U_1(x_1)$

40

50

とすると像面 I における振幅分布  $U_f(x_f)$  は

【0036】

$$U_f(x_f) = \frac{A \exp\left[j \frac{k}{2d} x_f^2\right]}{j\lambda d} \frac{f}{d}$$

$$\cdot \int \int_{-\infty}^{\infty} U_p(x_0) P(x_1) \exp\left[-j \frac{2\pi}{\lambda d} x_0 x_f\right] dx_0 \quad \cdots (1)$$

【0037】という形で表される。ここで

【0038】

【数2】

$$\Pi\left(\frac{x_1}{D}\right) = \begin{cases} 1 & (-D \leq x_1 \leq D) \\ 0 & (\text{それ以外}) \end{cases}$$

【0039】ここで、 $f$  はレンズ L の焦点距離、 $\lambda$  は波長、 $k = 2\pi/\lambda$ 、 $d$  は位相媒体から像面までの距離を

$$P(x_1) = G(x_1) \cdot \Pi\left(\frac{x_1}{D}\right) \cdot \exp[j(2\pi/\lambda) \cdot W_E(x_1)] \quad \cdots (2)$$

【0043】で表すことができる。また

【0044】

$$x_1 = \frac{f}{d} x_0 \quad \cdots (3)$$

【0045】となるので (1) 式は次の様に置き換えることができる。

$$U_f(x_f) = \frac{A \exp\left[j \frac{k}{2d} x_f^2\right]}{j\lambda d} \frac{f}{d}$$

$$\cdot \int \int_{-\infty}^{\infty} U_p(x_0) G\left(\frac{f}{d} x_0\right) \cdot \Pi\left(\frac{f}{d} \frac{x_0}{D}\right) \cdot \exp\left[j(2\pi/\lambda) \cdot W_E\left(\frac{f}{d} x_0\right)\right]$$

$$\cdot \exp\left[-j \frac{2\pi}{\lambda d} x_0 x_f\right] dx_0 \quad \cdots (4)$$

【0047】ここでガウシアン振幅分布  $G(x_1)$  は  $G(x_1) = G_1 \exp(-\alpha x_1^2)$   $\cdots (5)$

また、位相媒体による振幅変化  $U_p(x_1)$  は

$U_p(x_1) = B \exp[jW(x_1)] \cdots (6)$

$$W(x_0) = 2\pi(n-1)F(x_0)/\lambda$$

【0049】で表される。ここで、 $n$  は位相媒体の屈折率、 $F(x_0)$  はうねりの形状を表す関数を表す。

【0050】(4) 式を見ると積分内部は、フーリエ変換の形となっている。(4) 式を手計算で解くのはかなり困難であるが、モデル 1 と同様に高速フーリエ変換 (FFT) の数値計算を用いれば良い。

【0051】また、結像面での点像分布関数 (PSF) を、 $PSF(x_f)$  とすると

$$PSF(x_f) = \|U_f(x_f)\|^2 \quad \cdots (8)$$

となり (8) 式が像面におけるビームプロファイルとなる。

【0052】さらにスリットに入射する振幅分布関数について各々説明する。振幅分布関数は、(4) 式から、

【数1】

表す。

【0040】

【数3】

$$(j = \sqrt{-1})$$

【0041】また、 $P(x_1)$  は瞳関数を想定できるが、ここでは  $x_1$  座標での振幅分布で

【0042】

【数4】

$$\cdots (2)$$

【数5】

【0046】

【数6】

(B は定数)

$W(x_0)$  は位相媒体による波面収差で

【0048】

【数7】

$$\cdots (7)$$

スリットに到達するレーザの光量振幅分布  $G_1(x_1)$  とスリットを規定する  $\Pi(x_1/D)$ 、位相媒体による振幅変化  $U_p(x_1)$ 、位相媒体を除く光学系 (コリメータ等) により発生する残留波面収差  $W_1(x_1)$  からなる。

【0053】(2) ガウシアンビームの広がり度合いとスリット幅の関係

図 9 のようにレーザから発する光がコリメータを介してスリットに到達するとき、ガウシアン分布を持つレーザの振幅  $G_1(x_1)$  がスリット  $\Pi(x_1/D)$  によって、どのくらいケラれるかによって、評価しようとする像面における PSF 形状が異なってくる。

【0054】ここで

【0055】

【数8】

$$\Pi(x_1/D) = \begin{cases} 1 & (-D \leq x_1 \leq D) \\ 0 & (\text{それ以外}) \end{cases}$$

【0056】このため、ここではガウシアンビームのけられ度合いも考慮しなければならない。(5)式におけるガウシアンビームの振幅分布関数  $G(x_1)$  は(9)式で表すことができる。

【0057】

$$G(x_1) = G_1 \cdot \exp(-\alpha \cdot x_1^2) \quad \dots (9) \quad 10$$

( $G_1$ : 光軸上での振幅値)

ここで  $\alpha$  は、レーザ光源からの光がコリメータを介してスリットに到達するレーザ光の振幅分布において、ガウシアン分布の広がり度合いを表す定数であり、コリメータの開口数  $N_{A_m}$  とレーザの主走査方向の広がり角 (ここでは半角とする)  $\theta_m$  、スリット幅  $2D$  で決まる。

【0058】コリメータの開口数  $N_{A_m}$  はコリメータの焦点距離を  $f_m$  とすると、

$$N_{A_m} = D/f_m \quad 20$$

で表すことができる。

【0059】また、レーザの広がり角  $\theta_m$  は、ガウシアン分布を持つ強度分布プロファイルの最大強度に対して  $1/e^2$  の角度と定義する。

【0060】この広がり角を開口数  $N_{A_m}$  で表現すると  $N_{A_m} = \sin(\theta_m)$  で表すことができる。

【0061】広がり角  $\theta_m$  の定義は、強度分布に対して最大強度の  $1/e^2$  の角度と定義しているので振幅分布においては、最大振幅に対して  $1/e$  の位置での角度となる。これに対応するスリット上の位置  $x_m$  をもとめると

$$G_1(x_m) = 1/e$$

$$W(x_0) = 2\pi/\lambda \cdot (n-1)F(x_0)$$

【0072】で表すことができる ( $n$  は位相媒体の屈折率)。ここで位相媒体の厚みは極めて薄いと仮定する。このためこのモデルにおいて、位相媒体の平行平面板の効果としての波面収差及びバックフォーカス変化はな

$$\begin{aligned} U_p(x_0) &= \exp[iW(x_0)] \\ &= \exp[i2\pi/\lambda \cdot (n-1)F(x_0)] \end{aligned}$$

【0074】となる。

【0075】ここでは位相媒体のうねりの形状を正弦関数として考える。うねりの形状  $F(x_0)$  は

$$F(x_0) = a \sin \frac{2\pi}{T_p} (x_0 + \delta)$$

【0077】で表される図12は、図11のうねりを横にして見たときの正弦関数である。

となり、(9)式から

【0062】

【数9】

$$x_{LD} = \pm \sqrt{\frac{1}{\alpha}}$$

【0063】となる。

【0064】このとき、図10から

【0065】

【数10】

$$D/\sqrt{\frac{1}{\alpha}} = N_{A_{COL}}/N_{A_{LD}}$$

【0066】の関係が成立する。

【0067】スリットによるレーザ光のけられ度合いは、コリメータの開口数  $N_{A_m}$  とレーザの発散角による開口数  $N_{A_m}$  の関係によって決まる。このためけられ度  $\varepsilon$  を導入して

$$\varepsilon = N_{A_m} / N_{A_{LD}}$$

と定義すると

【0068】

【数11】

$$\varepsilon = D/\sqrt{\frac{1}{\alpha}}$$

【0069】となる。けられ度  $\varepsilon$  の値が小さいと、レーザから発する光のスリットによるケラレは大きくなり、けられ度  $\varepsilon$  が大きいとケラレは小さくなる。

【0070】(3) 位相媒体の説明と実際の走査光学系のモデルとの対応

位相媒体のうねりの関数を  $F(x_0)$  として、この位相媒体により発生する波面収差を  $W(x_0)$  とすると、位相媒体のうねりと波面収差の関係は(7)式に示される様に

【0071】

【数12】

… (11)

い。そのため、位相媒体による振幅分布の変化は

【0073】

【数13】

… (12)

【0076】

【数14】

… (13)

【0078】また、 $a$  はうねりの振幅、 $T_p$  はうねりのピッチ、 $\delta$  はうねりの光軸に対する位相を表す。また、

うねりのPV値は必然的に

$$PV = 2a \quad \dots (14)$$

実際に走査光学系においては図13で示す様に、ポリゴンミラーによりビームがスキャンされS4面にうねりが存在する時、ビームは周期的なうねりをほぼ等速に通過する。

【0079】この事項について上記モデルで考えると、図13のポリゴンミラーによる走査は、図14の位相媒体を光軸に対してシフトすることと等しいと考えることができる。

【0080】そしてうねりの周期Tpに対して、位相δ=0(A)の時のビームと、位相δ=Tp/4(B)の時のビーム、位相δ=Tp/2(C)の時のビームによるプロファイルの形状の違いが、黒筋となって現れることが推測される。

$$W_E(\rho) = SA \cdot (6\rho^4 - 6\rho^2 + 1) + CM(3\rho^2 - 2\rho^2) \quad \dots (15)$$

【0085】となる。ρは瞳半径をノーマライズした値である。SAは球面収差のツエルニケ係数で、CMはコマ収差のツエルニケ係数である。またSA rmsは球面収差のrms値、CM rmsはコマ収差のrms値とす

$$\left. \begin{array}{l} SA = \sqrt{5} SA_{rms} \\ CM = 2\sqrt{2} CM_{rms} \end{array} \right\} \quad \dots (16)$$

【0087】となる。

【0088】以上をふまえて(4)式、(8)式を解析する。

【0089】以下のシミュレーションにおいては、高速フーリエ変換を用いて数値解析を行った。また本シミュレーションにおいては、必要な結果はPSFビームプロファイルの各クリップレベルにおけるビーム径であるため、PSFは最大強度でノーマライズしてある。このため(4)式の定数A、(5)式の定数G1、(6)式の定数Bはそれぞれ1とした。

【0090】\*実施例シミュレーション

(1) 共通条件

主走査のみの議論とする。レンズは焦点距離f=280mmで、位相媒体は像面から100mmの位置に設ける。即ち、

・焦点距離f=280mm (波長780nm)

・位相媒体の位置は像面から100mmの位置

・位相媒体の屈折率1.48595

・波長780nm

・けられ度εは前記の通り、コリメータレンズのNA(<sub>in</sub>)と、レーザの強度で1/e<sup>1</sup>での拡がり角によるNA(<sub>out</sub>)によりNA(<sub>in</sub>)/NA(<sub>out</sub>)で決まるが、レーザの拡がり角のばらつきを考慮して、3種類の値でシミュレーションを行う。

【0091】ε=0.767

ε=0.623

40

【0094】

【数17】

$$\varepsilon = D \cdot \sqrt{\alpha}$$

【0095】から、スリット幅2Dとガウシアン係数αをもとめる。

【0096】このスリット幅2Dとαに対して、条件で述べた3種類のεの値で位相媒体のうねりのPV及び残留収差の値が0となるときのシミュレーションをおこない、1/e<sup>1</sup>でのビーム径を算出し、ビーム径のばらつきを見る。

50 【0097】②この状態で、レンズ面に存在する微妙な

10

【0081】(4) 残留波面収差

モデル2においてはより現実に近づけるために、入射ビームに波面収差ものせて考える。

【0082】実際の光学系においては、このシミュレーションでの入射ビームを作るコリメータ光学系に残留収差が存在し、また走査光学系内においても像高を持つと設計的なコマ収差が若干存在する。これらの残留収差が黒筋に影響を及ぼす可能性がある。

【0083】このモデルでは主走査方向でしか論じておらず、1次元であるので、波面収差としてコマ収差及び球面収差をのせる。波面収差を近似的にツエルニケ展開を1次元化した形とすると、

【0084】

【数15】

ると、

【0086】

20 【数16】

ε=1.000

・本発明の強度分布変更手段が無い場合、ある場合を含めて、うねり(PV 0 μm)がなく残留収差もない(球面収差rms値=0λ、コマ収差rms値=0λ、λ=780nm)状態で解像度を設定するため1/e<sup>1</sup>(13.5%)でのビーム径がけられ度ε=0.767でほぼ60μmとなる様にスリットを設定する。

【0092】(2) シミュレーション法

シミュレーションは次に説明する①、②の順序でおこなつた。

【0093】①レーザ拡がり角の中心値を想定してけられ度ε=0.767に対して、本発明が無い状態と本発明の実施例での位相媒体のうねりのPV値及び、残留収差を0としたときクリップレベル1/e<sup>1</sup>(13.5%)におけるビーム径がほぼ60μmとなるように

【0094】

【数17】

うねりを想定したシミュレーションを行う。

【0098】レンズ面のうねりを想定した位相媒体の条件

- ・うねりのPV値:  $0.05 \mu\text{m}$  (加工限界)

- ・うねりの周期: 位相媒体にあたる光束に対してうねり  $1.65$  周期分となるよう設定する。スリット幅  $D = 6 \text{ mm}$  で前記条件の場合、

$$T_p = d/f \cdot 2D / 1.65 = 1.3 \text{ mm}$$

- ・うねりの位相:  $0$  から  $2\pi$  まで 1 周期分

- ・残留収差: LB P の場合 LD 及びコリメータ系に存在する収差及び、走査光学系で設計時から発生している収差を想定し、総括して残留収差を 1 次元的に波面収差  $r_{\text{rms}}$  値で設定する。(コマ収差、球面収差)

(3) 強度分布変更手段がないときの場合

①スリット幅とガウシアン係数の決定

$\varepsilon = 0.767$  で  $1/e^2$  のビーム径をほぼ  $60 \mu\text{m}$  にするには、スリット幅の半値  $D = 3 \text{ mm}$ 、ガウシアン係数  $\alpha = 0.0653$

この結果

【0099】

【表1】

$\varepsilon$	ビーム径( $\mu\text{m}$ )		
	13.5%	6%	4%
(a)0.767	61.2	70.1	73.7
(b)0.623	56.7	64.7	67.8
(c)1.000	71.0	82.0	86.6

【0100】となる。

【0101】②各けられ度  $\varepsilon$  に対する PV  $0.05 \mu\text{m}$  のうねり位相媒体を入れたときの、うねりの光軸に対する位相変化によるビーム径の変化を検証

- ・残留収差: 球面収差  $r_{\text{rms}} = 0.025 \lambda$ 、コマ  $r_{\text{rms}} = 0.025 \lambda$

- ・うねりの周期:  $T_p = 1.3 \text{ mm}$  (位相媒体にあたる光束に対してうねり  $1.65$  周期分)

- ・うねりの位相:  $0$  から  $2\pi$  まで変化したときのビーム径変化を見る。

【0102】

結果 図15 (a)  $\varepsilon = 0.767$

(b)  $\varepsilon = 0.623$

(c)  $\varepsilon = 1.000$

この結果、図15 (a), (b) のように  $\varepsilon$  の値が小さいとサイドロープの影響を受ける位相と受けない位相が存在し、クリップレベル 6 %でのビーム径変化は極端に大きくなっていることが分かる。これが印字において黒筋が発生すると考えられる。

【0103】 $\varepsilon$  が大きくなると、図15 (c) のようにサイドロープの影響は受けなくなり、クリップレベルが 6 %ではビーム径の変動は小さくなる。このため、けられ度  $\varepsilon$  が小さい方が黒筋は発生しにくいことが分かる。

10

しかしながら、光源として半導体レーザを用いると、その拡がり角のばらつきがかなり大きく、レーザの拡がり角のばらつきにより、印字時に黒筋が発生することが分かる。

【0104】(4) 強度分布変更手段の具体的実施例

強度分布変更手段の実施例として図16の①から④、図17の⑤、⑥の主走査方向における透過率分布を持つ計6種類の強度分布変更手段を用いた。

【0105】実施例1

実施例1は図16の①のような主走査方向の振幅透過率の強度分布変更手段で、光軸周辺の振幅透過率はほぼ 100 %で、主走査方向開口周辺では振幅透過率はほぼ 50 %となる。又、この強度分布変更手段の透過率分布は、主走査方向において、光軸周辺から開口周辺までリニアに下がる。

【0106】光軸を原点としたときの主走査方向の座標を  $x$  とし、強度分布変更手段の振幅透過率を  $T(x)$

(単位: %)、開口の半径 (あるいは開口の光軸から端部までの距離) を  $D$  としたとき、強度分布変更手段の振幅透過率は、

$$T(x) = (1 - 0.5 \cdot x/D)$$

としている。

【0107】この強度分布変更手段を用いた場合の前記モデルを用いたシミュレーションを行って、効果の検証を行った。

【0108】シミュレーション検証

①スリット幅とガウシアン係数の決定

$\varepsilon = 0.767$  で  $1/e^2$  のビーム径をほぼ  $60 \mu\text{m}$  にするには、スリット幅の半値  $D = 3.4 \text{ mm}$ 、ガウシアン係数  $\alpha = 0.0509$

この結果

【0109】

【表2】

$\varepsilon$	ビーム径( $\mu\text{m}$ )		
	13.5%	6%	4%
(a)0.767	61.0	70.8	74.8
(b)0.623	56.6	65.2	68.8
(c)1.000	70.3	82.3	87.6

40

【0110】となる。

【0111】②各けられ度  $\varepsilon$  に対する PV  $0.05 \mu\text{m}$  のうねり位相媒体を入れたときの、うねりの光軸に対する位相変化によるビーム径の変化を検証

- ・残留収差: 球面収差  $r_{\text{rms}} = 0.025 \lambda$ 、コマ  $r_{\text{rms}} = 0.025 \lambda$

- ・うねりの周期:  $T_p = 1.5 \text{ mm}$  (位相媒体にあたる光束に対してうねり約  $1.65$  周期分)

- ・うねりの位相:  $0$  から  $2\pi$  まで変化したときのビーム径変化を見る。

50

【0112】

結果 図 18 (a)  $\varepsilon = 0.767$   
 (b)  $\varepsilon = 0.623$   
 (c)  $\varepsilon = 1.000$

図 18 (a) から図 18 (c) を見ても分かるように、クリップレベル 6% のビーム径ではサイドロープによる影響は受けていない。強度分布変更手段が無い場合と比較すると、実施例 1 の強度分布変更手段を用いた場合の方が、サイドロープの影響を受けないことが分かる。

【0113】図 18 (a), (b) のように、けられ度  $\varepsilon$  が小さい値 ( $\varepsilon = 0.623$ ) で、強度分布変更手段を通して前の光の主走査方向の光量分布が均一光量に近づくと、クリップレベル 4% のビーム径でサイドロープの影響を受けているが、これはほとんど実際の画像には影響しない。但し、感度の高い感光体を使用する場合には影響を受ける場合があるので、この場合はクリップレベル 4% でのビーム径変化はあまり影響を受けないレーザと感光体を用いることが望ましい。

#### 【0114】実施例 2

実施例 2 は図 16 の②のような主走査方向の振幅透過率の強度分布変更手段で、光軸周辺の振幅透過率はほぼ 100% で、主走査方向開口周辺では振幅透過率はほぼ 20% となる。又、この強度分布変更手段の透過率分布は、主走査方向において、光軸周辺から開口周辺までリニアに下がる。

【0115】光軸を原点としたときの主走査方向の座標を  $x$  とし、強度分布変更手段の振幅透過率を  $T(x)$  (単位: %)、開口の半径 (あるいは開口の光軸から端部までの距離) を  $D$  としたとき、強度分布変更手段の振幅透過率は、

$$T(x) = (1 - 0.8 \cdot x/D)$$

としている。

【0116】この強度分布変更手段を用いた場合の前記モデルを用いたシミュレーションを行って、効果の検証を行った。

#### 【0117】シミュレーション検証

##### ①スリット幅とガウシアン係数の決定

$\varepsilon = 0.767$  で  $1/e^2$  でのビーム径をほぼ  $60\mu\text{m}$  にするには、スリット幅の半値  $D = 3.9\text{mm}$ 、ガウシアン係数  $\alpha = 0.0387$

この結果

#### 【0118】

##### 【表 3】

$\varepsilon$	ビーム径 ( $\mu\text{m}$ )		
	13.5%	6%	4%
(a) 0.767	60.5	70.9	75.5
(b) 0.623	56.5	65.9	70.0
(c) 1.000	68.4	80.9	86.5

【0119】となる。

【0120】②各けられ度  $\varepsilon$  に対する PV0.05  $\mu\text{m}$  のうねり位相媒体を入れたときの、うねりの光軸に対する位相変化によるビーム径の変化を検証

- ・残留収差：球面収差 rms = 0.025  $\lambda$ 、コマ rms = 0.025  $\lambda$
- ・うねりの周期：Tp = 1.7 mm (位相媒体にあたる光束に対してうねり約 1.65 周期分)
- ・うねりの位相：0 から  $2\pi$  まで変化したときのビーム径変化を見る。

#### 【0121】

##### 結果 図 19 (a) $\varepsilon = 0.767$

##### (b) $\varepsilon = 0.623$

##### (c) $\varepsilon = 1.000$

図 19 (a) から図 19 (c) を見ても分かるように、クリップレベル 4%, 6% のビーム径ではサイドロープによる影響は受けていない。強度分布変更手段が無い場合と比較すると、実施例 2 の強度分布変更手段を用いた場合の方が、サイドロープの影響を受けないことが分かる。

【0122】又、実施例 2 の強度分布変更手段は、クリップレベル 4% でのビーム径でもサイドロープの影響を受けず、うねりの位相変化に対してあまり大きなビーム径変動はないため実施例 1 の強度分布変更手段に比べて黒筋が発生しにくい。

#### 【0123】実施例 3

実施例 3 は図 16 の③のような主走査方向の振幅透過率の強度分布変更手段で、光軸周辺の振幅透過率はほぼ 100% で、主走査方向開口周辺では振幅透過率はほぼ 50% となる。又、この強度分布変更手段の透過率分布は、主走査方向において、光軸周辺から開口周辺まで 2 次関数的に下がる。

【0124】光軸を原点としたときの主走査方向の座標を  $x$  とし、強度分布変更手段の振幅透過率を  $T(x)$  (単位: %)、開口の半径 (あるいは開口の光軸から端部までの距離) を  $D$  としたとき、強度分布変更手段の振幅透過率は、

$$T(x) = (1 - 0.5 \cdot (x/D)^2)$$

としている。

【0125】この強度分布変更手段を用いた場合の前記モデルを用いたシミュレーションを行って、効果の検証を行った。

#### 【0126】シミュレーション検証

##### ①スリット幅とガウシアン係数の決定

$\varepsilon = 0.767$  で  $1/e^2$  でのビーム径をほぼ  $60\mu\text{m}$  にするには、スリット幅の半値  $D = 3.35\text{mm}$ 、ガウシアン係数  $\alpha = 0.0524$

この結果

#### 【0127】

##### 【表 4】

$\varepsilon$	ビーム径(μm)		
	13.5%	6%	4%
(a) 0.767	60.8	70.1	73.9
(b) 0.623	56.6	65.0	68.4
(c) 1.000	69.5	80.8	85.6

【0128】となる。

【0129】②各けられ度 $\varepsilon$ に対するPV 0. 05 μmのうねり位相媒体を入れたとき、うねりの光軸に対する位相変化によるビーム径の変化を検証

・残留収差：球面収差rms = 0. 025 λ、コマrm s = 0. 025 λ

・うねりの周期：Tp = 1. 5 mm (位相媒体にあたる光束に対してうねり約1. 65周期分)

・うねりの位相 0から2πまで変化したときのビーム径変化を見る。

#### 【0130】

結果 図20 (a)  $\varepsilon = 0. 767$

(b)  $\varepsilon = 0. 623$

(c)  $\varepsilon = 1. 000$

図20 (a), (b) のように、けられ度 $\varepsilon$ が小さい値で、強度分布変更手段を通過する前の光の主走査方向の光量分布が均一光量に近づくと、クリップレベル4%のビーム径でサイドロープの影響を受けている。又、けられ度 $\varepsilon = 0. 623$ の場合、クリップレベル6%のビーム径でもサイドロープの影響を受けやすくなり、PV 0. 05 μmのうねりの位相変化に対してビーム径の変動が大きくなっているが、強度分布変更手段が無い場合と比較すると、サイドロープによるビーム径への影響が少ない。

#### 【0131】実施例4

実施例4は図16の④のような主走査方向の振幅透過率の強度分布変更手段で、光軸周辺の振幅透過率はほぼ100%で、主走査方向開口周辺では振幅透過率はほぼ20%となる。又、この強度分布変更手段の透過率分布は、主走査方向において、光軸周辺から開口周辺まで2次関数的に下がる。

【0132】光軸を原点としたときの主走査方向の座標をxとし、強度分布変更手段の振幅透過率をT(x)

(単位：%)、開口の半径(あるいは開口の光軸から端部までの距離)をDとしたとき、強度分布変更手段の振幅透過率は、

$$T(x) = (1 - 0. 8 \cdot (x/D)^2)$$

としている。

【0133】この強度分布変更手段を用いた場合の前記モデルを用いたシミュレーションを行って、効果の検証を行った。

#### 【0134】シミュレーション検証

①スリット幅とガウシアン係数の決定

$\varepsilon = 0. 767$ で $1/e^2$ でのビーム径をほぼ60 μm

10

20

30

40

50

16

にするには、スリット幅の半値D = 3. 70 mm、ガウシアン係数 $\alpha = 0. 0430$

この結果

#### 【0135】

#### 【表5】

$\varepsilon$	ビーム径(μm)		
	13.5%	6%	4%
(a) 0.767	59.9	69.3	73.2
(b) 0.623	56.3	64.9	68.5
(c) 1.000	67.2	78.3	83.0

【0136】となる。

【0137】②各けられ度 $\varepsilon$ に対するPV 0. 05 μmのうねり位相媒体を入れたとき、うねりの光軸に対する位相変化によるビーム径の変化を検証

・残留収差：球面収差rms = 0. 025 λ、コマrm s = 0. 025 λ

・うねりの周期：Tp = 1. 6 mm (位相媒体にあたる光束に対してうねり約1. 65周期分)

・うねりの位相：0から2πまで変化したときのビーム径変化を見る。

#### 【0138】

結果 図21 (a)  $\varepsilon = 0. 767$

(b)  $\varepsilon = 0. 623$

(c)  $\varepsilon = 1. 000$

図21 (a) から図21 (c) を見ても分かるようにクリップレベル6%のビーム径ではサイドロープによる影響は受けていない。強度分布変更手段が無い場合と比較すると、明らかなようにサイドロープの影響を受けていることが分かる。

【0139】図21 (b) のように、けられ度 $\varepsilon$ が小さい値( $\varepsilon = 0. 623$ )で、強度分布変更手段を通過する前の光の主走査方向の光量分布が均一光量に近づくと、クリップレベル4%のビーム径でサイドロープの影響を受けている。この実施例も実施例1と同様にクリップレベル4%でのビーム径変化はあまり影響を受けないレーザと感光体を用いることが望ましい。

#### 【0140】実施例5

実施例5は図17の⑤のような主走査方向の振幅透過率の強度分布変更手段で、光軸周辺の振幅透過率はほぼ100%で、主走査方向開口周辺では振幅透過率はほぼ50%となる。又、この強度分布変更手段の透過率分布は、主走査方向において、光軸周辺から開口周辺まで余弦的に下がる。

【0141】光軸を原点としたときの主走査方向の座標をxとし、強度分布変更手段の振幅透過率をT(x)

(単位：%)、開口の半径(あるいは開口の光軸から端部までの距離)をDとしたとき、強度分布変更手段の振幅透過率は、

#### 【0142】

## 【数18】

$$T(x) = 0.25 \cdot (1 + \cos(\pi \cdot x/D)) + 0.5$$

【0143】としている。

【0144】この強度分布変更手段を用いた場合の前記モデルを用いたシミュレーションを行って、効果の検証を行った。

## 【0145】シミュレーション検証

## ①スリット幅とガウシアン係数の決定

$\varepsilon = 0.767$ で $1/e^1$ でのビーム径をほぼ $60\mu m$ にするには、スリット幅の半値 $D = 3.50 mm$ 、ガウシアン係数 $\alpha = 0.0480$

この結果

## 【0146】

## 【表6】

$\varepsilon$	ビーム径( $\mu m$ )		
	13.5%	6%	4%
(a)0.767	61.1	71.0	75.2
(b)0.623	56.6	65.5	69.2
(c)1.000	70.2	82.3	87.7

【0147】となる。

【0148】②各けられ度 $\varepsilon$ に対する $PV0.05\mu m$ のうねり位相媒体を入れたときの、うねりの光軸に対する位相変化によるビーム径の変化を検証

- ・残留収差：球面収差 $rms = 0.025\lambda$ 、コマ $rm s = 0.025\lambda$

- ・うねりの周期： $T_p = 1.5 mm$ （位相媒体にあたる光束に対してうねり約1.65周期分）

- ・うねりの位相：0から $2\pi$ まで変化したときのビーム径変化を見る。

## 【0149】

結果 図22 (a)  $\varepsilon = 0.767$ (b)  $\varepsilon = 0.623$ (c)  $\varepsilon = 1.000$ 

図22 (a) から図22 (c) を見ても分かるようにクリップレベル6%のビーム径ではサイドローブによる影響は受けていない。強度分布変更手段が無い場合と比較すると、明らかのようにサイドローブの影響を受けていないことが分かる。

【0150】図22 (b) のように、けられ度 $\varepsilon$ が小さい値 ( $\varepsilon = 0.623$ ) で、強度分布変更手段を通過する前の光の主走査方向の光量分布が均一光量に近づくと、クリップレベル4%のビーム径でサイドローブの影響を受けている。又、実施例1よりも $PV0.05\mu m$ のうねりの位相変化に対してのビーム径変動への影響は少ない。この実施例も実施例1と同様、クリップレベル4%でのビーム径変化はあまり影響を受けないレーザと感光体を用いることが望ましい。

## 【0151】実施例6

実施例6は図17の⑥のような主走査方向の振幅透過率

の強度分布変更手段で、光軸周辺の振幅透過率はほぼ100%で、主走査方向開口周辺では振幅透過率はほぼ20%となる。又、この強度分布変更手段の透過率分布は、主走査方向において、光軸周辺から開口周辺まで余弦的に下がる。

【0152】光軸を原点としたときの主走査方向の座標を $x$ とし、強度分布変更手段の振幅透過率を $T(x)$ （単位：%）、開口の半径（あるいは開口の光軸から端部までの距離）を $D$ としたとき、強度分布変更手段の振幅透過率は、

## 【0153】

## 【数19】

$$T(x) = 0.4 \cdot (1 + \cos(\pi \cdot x/D)) + 0.2$$

【0154】としている。

【0155】この強度分布変更手段を用いた場合の前記モデルを用いたシミュレーションを行って、効果の検証を行った。

## 【0156】シミュレーション検証

## ①スリット幅とガウシアン係数の決定

$\varepsilon = 0.767$ で $1/e^1$ でのビーム径をほぼ $60\mu m$ にするには、スリット幅の半値 $D = 4.10 mm$ 、ガウシアン係数 $\alpha = 0.0350$

この結果

## 【0157】

## 【表7】

$\varepsilon$	ビーム径( $\mu m$ )		
	13.5%	6%	4%
(a)0.767	61.2	72.0	76.7
(b)0.623	57.4	67.4	71.7
(c)1.000	68.4	80.7	86.2

【0158】となる。

【0159】②各けられ度 $\varepsilon$ に対する $PV0.05\mu m$ のうねり位相媒体を入れたときの、うねりの光軸に対する位相変化によるビーム径の変化を検証

- ・残留収差：球面収差 $rms = 0.025\lambda$ 、コマ $rm s = 0.025\lambda$

- ・うねりの周期： $T_p = 1.8 mm$ （位相媒体にあたる光束に対してうねり約1.65周期分）

- ・うねりの位相：0から $2\pi$ まで変化したときのビーム径変化を見る。

## 【0160】

結果 図23 (a)  $\varepsilon = 0.767$ (b)  $\varepsilon = 0.623$ (c)  $\varepsilon = 1.000$ 

図23 (a) から図23 (c) を見ても分かるようにクリップレベル4%, 6%のビーム径ではサイドローブによる影響は受けていない。強度分布変更手段が無い場合と比較すると、明らかにサイドローブの影響を受けていないことが分かる。又、本実施例の強度分布変更手段は

クリップレベル4%でのビーム径でもサイドロープの影響を受けず、うねりの位相変化に対してあまり大きなビーム径変動は無いため黒筋が発生しない。

【0161】以上の実施例に示した強度分布変更手段は、均一光量分布をもつ光束が通過したときに、その光束を位相分布変化のない所定の振幅分布を有する光束に変更できるものであれば良く、強度分布変更フィルタあるいは光学素子のコート膜で構成することができる。尚強度分布変更手段がフィルタである場合は、スリットと一体としてもよい。

#### 【0162】

【発明の効果】請求項1に係わる発明の効果は、黒筋の発生を防止することができる。

【0163】請求項2に係わる発明の効果は、さらに配置も容易で光学系も簡単にできる。

【0164】請求項3に係わる発明の効果は、さらに部品点数を増やすずにすみ、光学配置の自由度が大きい。

【0165】請求項4に係わる発明の効果は、強度分布変更手段を簡単に作成でき、大量生産しやすい。

【0166】請求項5に係わる発明の効果は、黒筋発生に対する許容幅が大きくなる。

【0167】このように本発明により、黒筋の発生を防止することができ、コスト的メリットが大きい走査光学系が提供されることとなった。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】走査光学系の1例を示す図。

【図2】レンズ面の極微小うねり測定結果を示す図。

【図3】ビームプロファイルと各クリップレベルを示す図。

【図4】ビームプロファイルのレンズ面のうねりと各クリップレベルでの主走査測定値の図。

【図5】ビームプロファイルのレンズ面のうねりと各クリップレベルでの副走査測定値の図。

【図6】ビームプロファイルの別のレンズ面のうねりと各クリップレベルでの主走査測定値の図。

【図7】ビームプロファイルの別のレンズ面のうねりと各クリップレベルでの副走査測定値の図。

【図8】光学面のうねりがビームプロファイルに与える影響を解析するモデルの図。

【図9】レーザから発する光がコリメータを介してスリットに到達する図。

【図10】ガウシアン分布とスリットの図。

【図11】正弦関数のうねりを有する位相媒体の図。

【図12】図11のうねりを横にして見た図。

【図13】走査光学系のポリゴンミラーによるビームスキャナの図。

【図14】図13のビームスキャナによるビームプロファイルa, b, cの相当図。

【図15】各けられ度でのうねりの位相変化(0~2π)時のビーム径変化の図。

【図16】強度分布変更手段による①~④4種の透過率分布を示す図。

【図17】強度分布変更手段による⑤, ⑥2種の透過率分布を示す図。

【図18】実施例1によるビーム径変化の図。

【図19】実施例2によるビーム径変化の図。

【図20】実施例3によるビーム径変化の図。

【図21】実施例4によるビーム径変化の図。

【図22】実施例5によるビーム径変化の図。

【図23】実施例6によるビーム径変化の図。

#### 【符号の説明】

a うねりの振幅

δ うねりの光軸に対する位相

D スリット幅の半値

L 理想レンズ

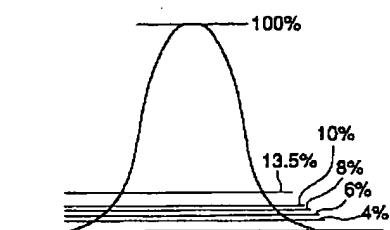
n 屈折率

P 位相媒体

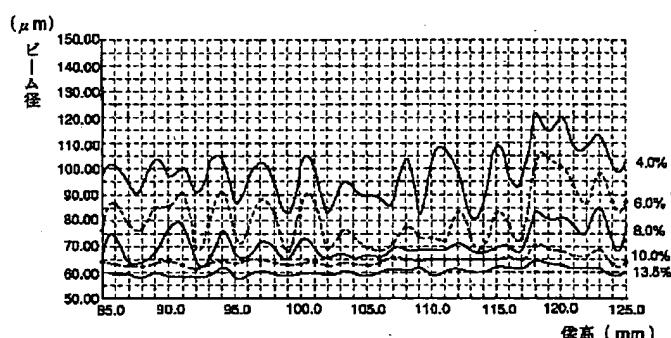
S スリット

T<sub>p</sub> うねりのピッチ

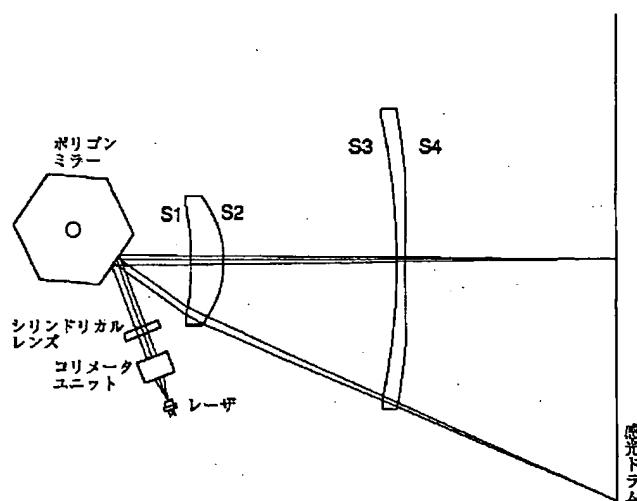
【図3】



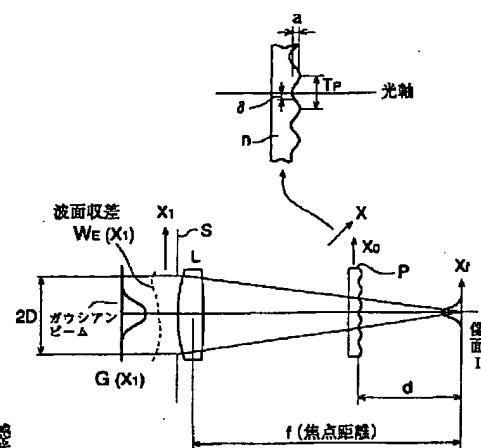
【図4】



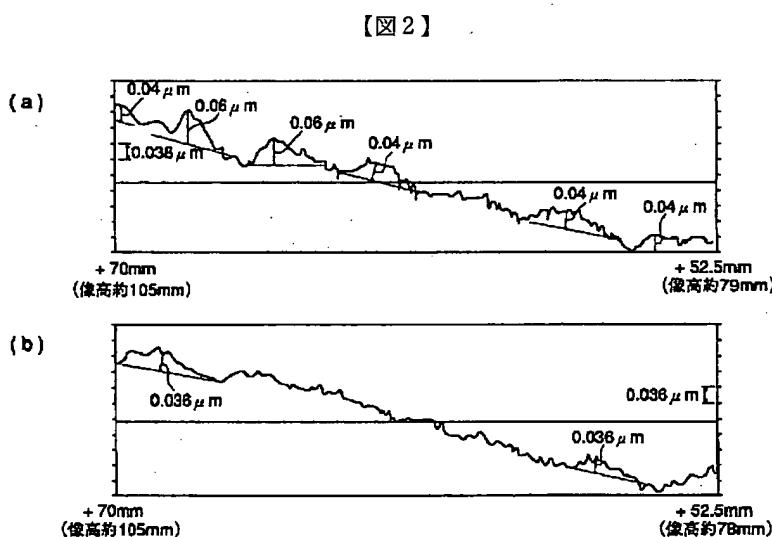
【図 1】



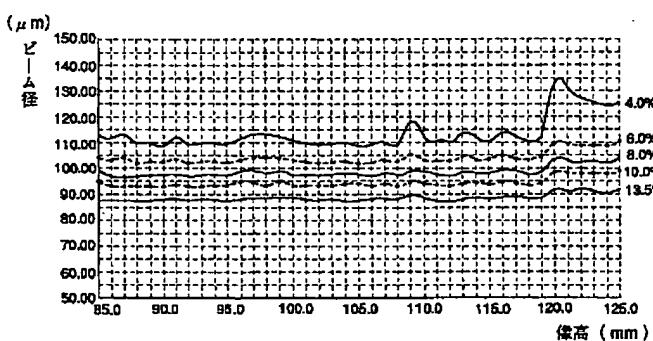
【図 8】



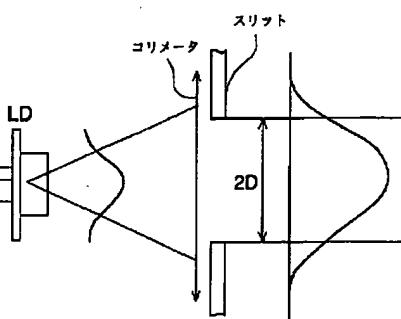
【図 10】



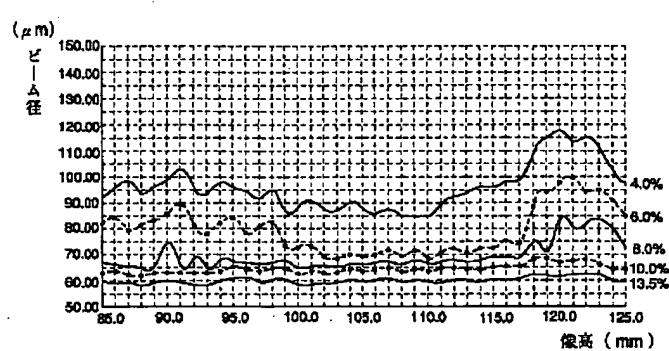
【図 5】



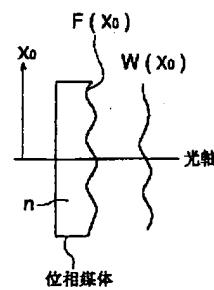
【図 9】



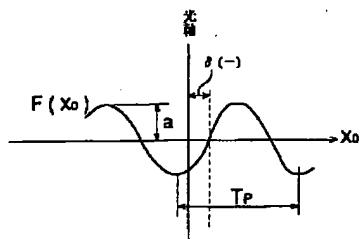
【図 6】



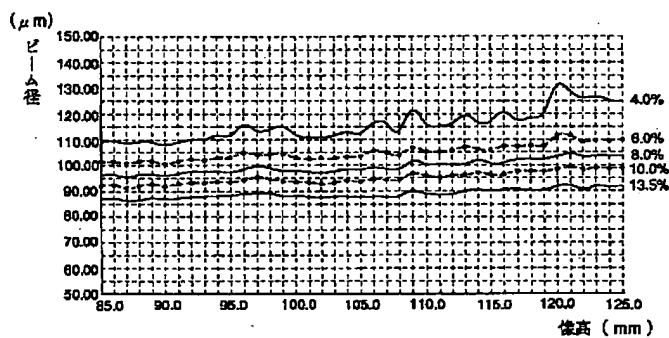
【図 11】



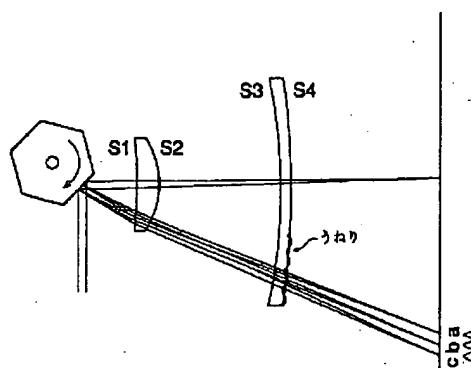
【図 12】



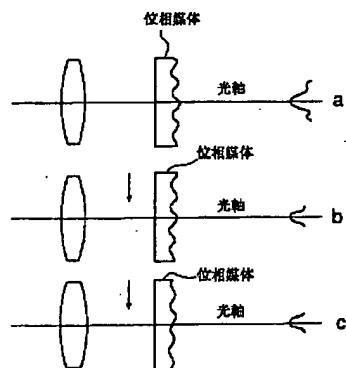
【図 7】



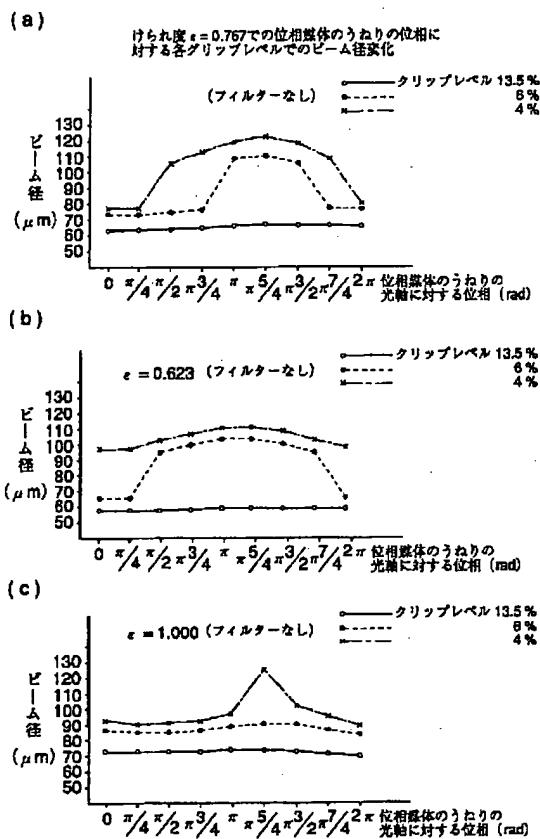
【図 13】



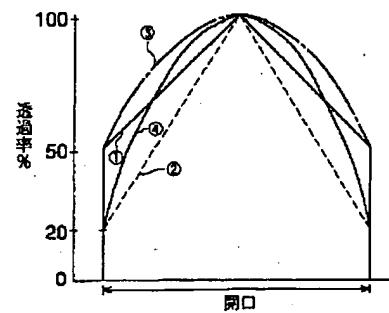
【図 14】



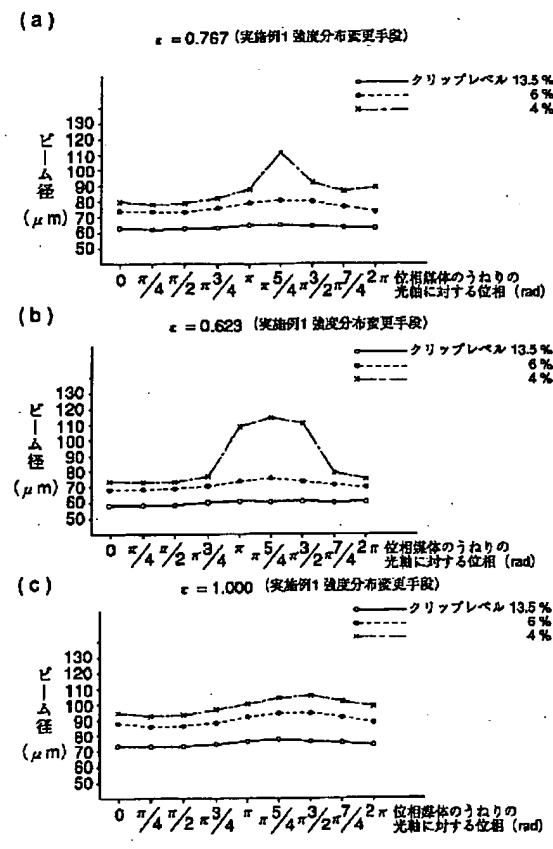
【図 15】



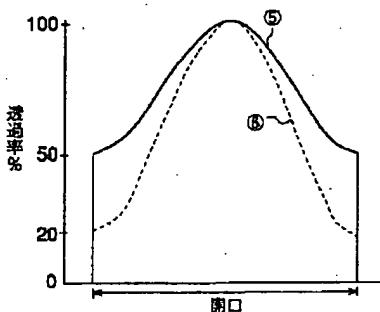
【図 16】



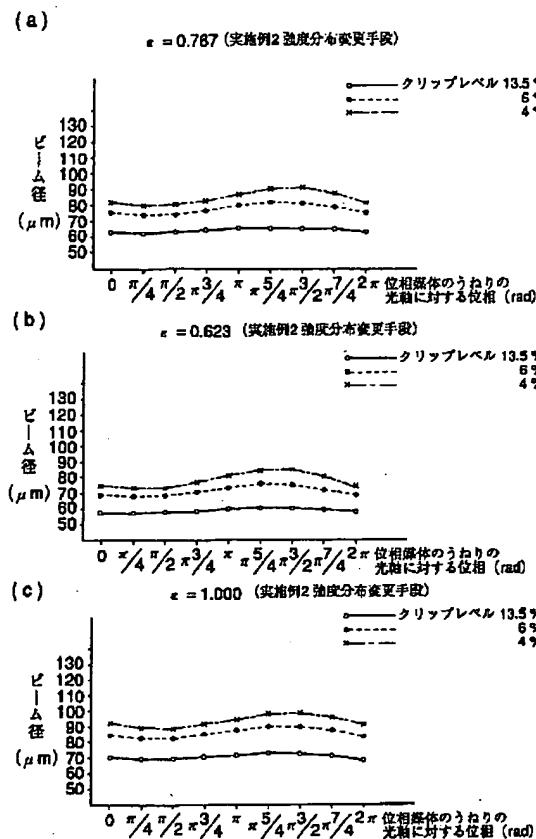
【図 18】



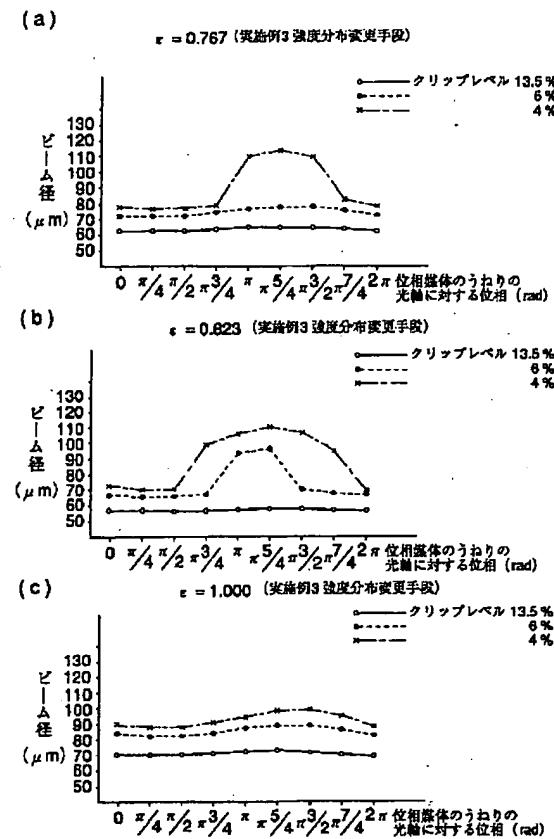
【図 17】



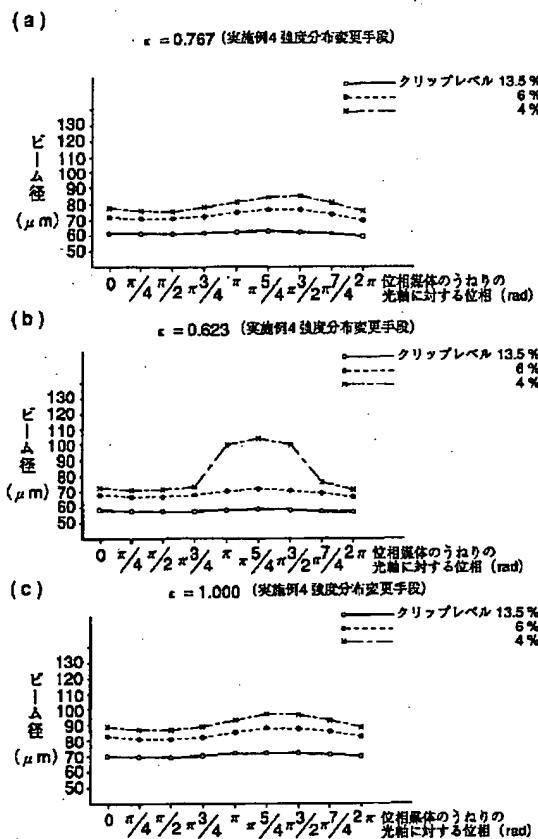
【図19】



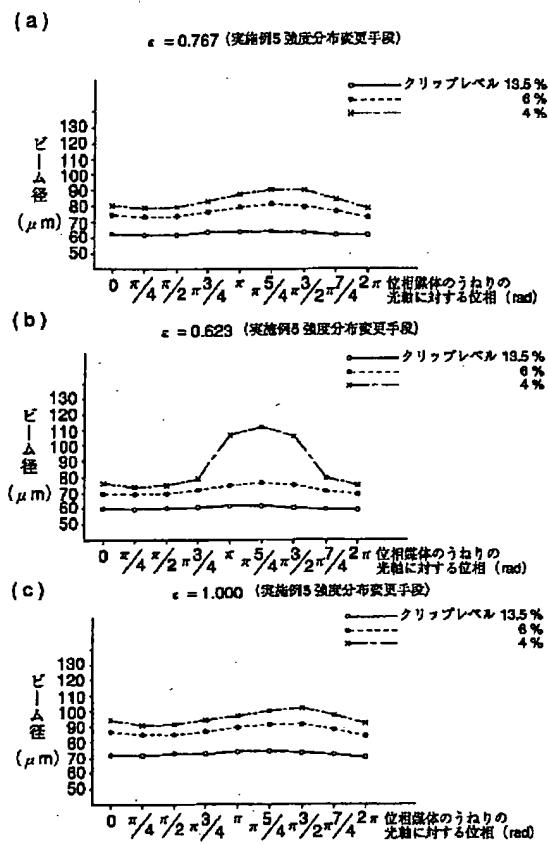
【図20】



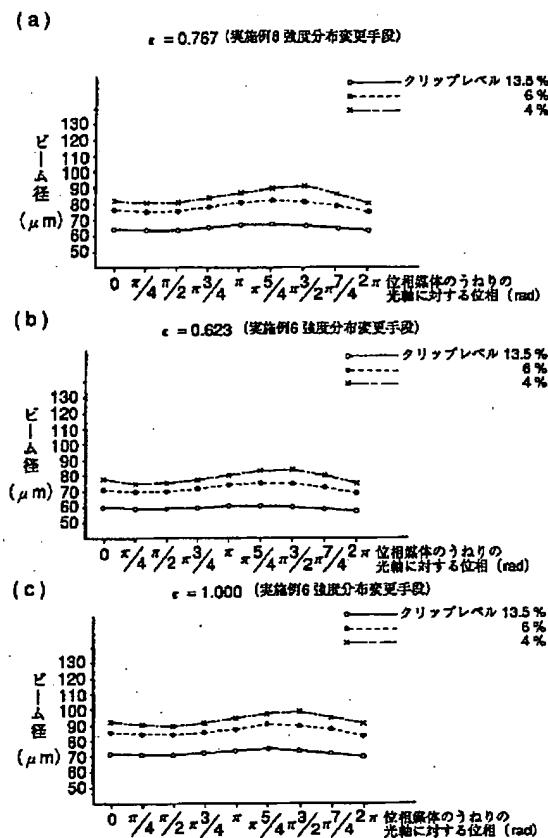
【図21】



【図22】



【図23】



*Date: September 18, 2003*

### *Declaration*

*I, Michihiko Matsuba, President of Fukuyama Sangyo Honyaku Center, Ltd. of 16-3, 2-chome, Nogami-cho, Fukuyama, Japan, do solemnly and sincerely declare that I understand well both the Japanese and English languages and that the attached document in English is a full and faithful translation, of the copy of Japanese Unexamined Patent No. Hei-9-80333 laid open on March 28, 1997.*



*Michihiko Matsuba*

*Fukuyama Sangyo Honyaku Center, Ltd.*

SCANNING OPTICAL SYSTEM

Japanese Unexamined Patent No. Hei-9-80333

Laid-open on: March 28, 1997

Application No. Hei-7-236921

Filed on: September 14, 1995

Inventor: Masaya Kobayashi

Applicant: Konica Corporation

SPECIFICATION

[TITLE OF THE INVENTION] Scanning Optical System

[ABSTRACT]

[Object] To provide a scanning optical system of a laser optical system, which prevents black lines.

[Construction] An optical system which deflects a light flux emitted from a light source by a deflector via an incidence optical system, and forms an image on a scanning medium via a scanning optical system, wherein an intensity distribution changing means which changes an intensity distribution so that the transmittance becomes almost maximum around the optical axis and becomes smaller as it separates from an optical axis in the scanning direction is provided in the incidence optical system.

[WHAT IS CLAIMED IS:]

[Claim 1] A scanning optical system which deflects a light flux emitted from a light source by a deflector via an incidence optical system, and forms an image on a scanning medium via a scanning optical system, wherein an intensity distribution changing means which changes an intensity distribution so that the transmittance becomes almost maximum around the optical axis and becomes smaller as it separates from an optical axis in the scanning direction is provided in the incidence optical system.

[Claim 2] The scanning optical system according to Claim 1, wherein the intensity distribution changing means is an intensity distribution changing filter.

[Claim 3] The scanning optical system according to Claim 1, wherein the intensity distribution changing means is a coating film on optical elements inside the incidence optical system.

[Claim 4] The scanning optical system according to Claim 1, 2, or 3, wherein the transmittance distribution of the intensity distribution changing means exists in only the scanning direction, and the transmittance distribution in the vertical scanning direction is uniform.

[Claim 5] The scanning optical system according to Claim 1, wherein an intensity distribution changing means satisfying

the following relationship:

$$T_{\max}/T_0 \leq 0.3$$

is set, provided that the amplitude transmittance at the end of the scanning direction of an effective light flux that enters the intensity distribution changing means is defined as  $T_{\max}$  and the amplitude transmittance at the periphery of the optical axis is defined as  $T_0$ .

[DETAILED DESCRIPTION OF THE INVENTION]

[0001]

[Field of the Invention] The present invention relates to a laser optical system comprising a laser light source, more specifically, a scanning optical system using a laser optical system to be used for laser printers, digital copying machines, etc.

[0002]

[Prior Art] In accordance with the popularization of laser printers, laser facsimiles, and digital copying machines, etc., more inexpensive, more compact, and higher-performance scanning optical systems have been demanded. Therefore, recently, even in a scanning optical system of a laser printer, etc., aspherical lenses have been generally used in order to reduce the number of lenses and realize compactness. To obtain such aspherical lenses at low cost, use of plastic lenses is

essential.

[0003] However, since plastic lenses are manufactured by resin forming molds, machining accuracy for molds is very important and high machining accuracy is required, wherein high molding techniques are required. Although high accuracy has also been required for plastic lenses used in scanning optical systems using laser optical systems, such accuracy has not always been satisfactory.

[0004]

[Problem to be Solved by the Invention] However, recently, demand for improvements in performance of scanning optical systems has been increasing in accordance with higher resolution and higher density gradation of laser printers, etc.

[0005] For example, in the scanning optical system shown in Fig. 1, when the surface S4 is a mold surface of Type A including partial undulation of PV 0.05 $\mu$ m or more and PV 0.1 $\mu$ m or less in the horizontal scanning direction, in printing results, black lines in the vertical scanning direction may occur at the portion corresponding to the undulation in only the case of half-tone printing. Furthermore, different from the surface of Fig. 2(a), at the same position, when the surface is a mold surface of Type B having a shape pattern including less undulation as shown in Fig. 2(b), black lines hardly occur.

[0006] In this case, when the beam diameter at the image surface in accordance with the undulation on the surface is observed, the printing results reflect the black lines in printing. In a general beam diameter evaluation method for scanning optical systems, with respect to beam intensity distribution (hereinafter, referred to as a beam profile) at the image surface as shown in Fig. 3, a diameter with an intensity of  $1/e^2$  (13.5%) of the maximum intensity (hereinafter, referred to as a clip level) is measured, and this is generally used as a resolution evaluation, whereby it is difficult to clearly show the status of the printing black lines by using this.

[0007] However, as shown in Fig. 3, when the measurement is carried out by lowering the clip level to be lower than 13.5% in the beam profile, the diameter can be made to correspond to the printing black lines.

[0008] Regarding the abovementioned Type A and Type B, the results of measurement of beam diameters at the image heights (+85mm to +12mm), measured at 1mm image height pitches and clip levels of 4%, 6%, 8%, 10%, and 13.5% are shown in Fig. 4 through Fig. 7.

[0009] Herein, Fig. 4 and Fig. 5 show the results of measurement in the horizontal scanning direction and the vertical scanning direction, respectively, when the surface is Type A, and Fig.

6 and Fig. 7 show the results of measurement in the horizontal scanning direction and the vertical scanning direction, respectively, when the surface is Type B.

[0010] Comparing Fig. 4 and Fig. 6 showing the results of beam diameter measurement in the horizontal scanning direction of Type A and Type B, no great change is shown in the beam diameters at a clip level of 13.5%, however, when the beam diameters at clip levels of 4% through 8% are observed, the beam diameter of Type A greatly changes, and In comparison to this, the change in Type B is smaller.

[0011] This corresponds to the results of measurement of the surface undulation (Figs. 2(a) and (b)) and the printing results. With regard to the vertical scanning direction, no great beam diameter change is observed even when the clip level is lowered as shown in Fig. 5 and Fig. 7.

[0012] From the abovementioned results, regarding the black lines in the printing results, it is expected that partial undulation influences the beam profile in the horizontal scanning direction of the image surface, and a resultant slight change in beam diameter causes the black lines.

[0013] Therefore, it is necessary to achieve higher accuracy in machining techniques so as to suppress partial undulation to PV 0.05 $\mu$ m or less, however, this limits the performance range

of processing machines, so that a processing machine having an accuracy of at least 10nm becomes necessary. In the future, development of higher-gradation photoreceptors is expected, and there is a possibility that even higher accuracy will be demanded, while satisfying such a required accuracy is beyond the limits of plastic lenses.

[0014] The present invention has been developed so as to solve the abovementioned problem. Namely, under the circumstances, an object of the invention is to provide a scanning optical system of a laser optical system which prevents the occurrence of black lines.

[0015]

[Means for Solving the Problem] The abovementioned object is achieved by employing the following construction.

[0016] (1) A scanning optical system which deflects a light flux emitted from a light source by a deflector via an incidence optical system, and forms an image on a scanning medium via a scanning optical system, wherein an intensity distribution changing means which changes an intensity distribution so that the transmittance becomes maximum around the optical axis and becomes smaller as it separates from an optical axis in the scanning direction is provided in the incidence optical system.

[0017] (2) The scanning optical system according to (1)

mentioned above, wherein the intensity distribution changing means is an intensity distribution changing filter.

[0018] (3) The scanning optical system (1) mentioned above, wherein the intensity distribution changing means is a coating film on optical elements inside the incidence optical system.

[0019] (4) The scanning optical system according to (1), (2), or (3) mentioned above, wherein the transmittance distribution of the intensity distribution changing means exists in only the scanning direction, and the transmittance distribution in the vertical scanning direction is uniform.

[0020] (5) The scanning optical system according to (1) mentioned above, wherein an intensity distribution changing means satisfying the following relationship:

$$T_{\max}/T_0 \leq 0.3$$

is set, provided that the amplitude transmittance at the end of the scanning direction of an effective light flux that enters the intensity distribution changing means is defined as  $T_{\max}$  and the amplitude transmittance at the periphery of the optical axis is defined as  $T_0$ .

[0021]

[Action] As an action relating to Claim 1, when light having a uniform light intensity distribution enters, in the beam profile form at the image surface, a side lobe with a certain

intensity is generated even when there is no aberration. Therefore, residual aberration remains, and when the light flux passes through a refracting medium (lens) including the existence of undulation, coma aberration changes in response to changes in the phase of the undulation, and the intensity of the side lobe changes. This causes black lines.

[0022] Then, when light whose intensity becomes maximum at the periphery of the optical axis and becomes smaller as it separates from the optical axis enters, the beam profile side lobe becomes smaller in status without aberrations. Therefore, even when a certain level of residual aberration exists and undulation exists, the permissible PV value of undulation at the surface of the refracting medium against black lines can be made larger.

[0023] Furthermore, it has been experimentally proved that the occurrence of black lines is greatly influenced by undulation of the refracting medium in the scanning direction.

[0024] Based on the abovementioned facts, it is effective to use an intensity distribution changing means which changes the intensity distribution so that the transmittance becomes almost maximum at the periphery of the optical axis, and becomes smaller as it separates from the optical axis in the scanning direction.

[0025] As an action relating to Claim 2, when an intensity distribution changing filter is used as the intensity distribution changing means, its arrangement is easy and the optical system is also easily constructed.

[0026] As an action relating to Claim 3, employment of a coating film for optical elements inside the incidence optical system as the abovementioned intensity distribution changing means does not creat an increase in the number of parts, and this is advantageous in terms of costs.

[0027] As an action relating to Claim 4, the transmittance distribution is set in only the scanning direction, whereby the costs are further reduced.

[0028] As an action relating to Claim 5, by setting  $T_{max}/T_0 \leq 0.3$ , the side lobe in the beam profile becomes smaller, adaptation to various photoreceptors becomes possible, and the permissible ranges of residual aberration inside the optical system and the PV value of micro undulation on the refracting medium can also be widened with respect to the occurrence of black lines.

[0029]

[Embodiment] Hereinafter, an embodiment is shown. First, a verification method (simulation method) of the intensity distribution changing means used for explaining the effects

of the embodiment is described.

[0030] \* Verification method

As a verification method, a beam profile (PSF: Point Spread Function) is calculated by replacing the scanning optical system with a simple model.

[0031] Hereinafter, this method is described.

[0032] (1) PSF (beam profile) calculation method

A simple model is considered for analyzing the actual manner of influence on the beam profile from partial undulation on an optical surface. This model is shown in Fig. 8.

[0033] This is a two-dimensional model including, on the assumption of the horizontal scanning direction of a scanning lens, installation of an ideal lens L aggregating the power of said scanning lens and a phase medium which is disposed between this ideal lens and an image surface and is remarkably thin, and has assumed surface undulation of continuous sine waves.

[0034] Furthermore, the vertical scanning direction hardly influences the occurrence of black lines when printing as shown in the results of Fig. 5 and Fig. 7, so that it is removed from consideration. Furthermore, immediately before the lens, a slit with a width  $2D$  exists, and a laser beam is assumed to be a beam which passes through this slit, and parallel light

having an intensity distribution of gauss distribution enters.

It is assumed that this incident light has a wavefront aberration representing aberrations of light emitted from a collimator and aberrations existing in accordance with designed values within the scanning optical system.

[0035] The system of coordinates of the slit in this case is defined as  $x_1$ , the system of coordinates of the phase medium is defined as  $x_0$ , and the system of coordinates of the image surface is defined as  $x_f$ . Furthermore, when the amplitude distribution of a Gaussian beam is defined as  $G(x_1)$ , the windowing function of the slit is defined as  $\Pi(x_1/D)$ , the wavefront aberration at the slit is defined as  $W_E(x_1)$ , and the amplitude distribution change due to the phase medium is defined as  $U_p(x_0)$ , the amplitude distribution  $U_f(x_f)$  at the image surface I is expressed as follows:

[0036]

[Numerical expression 1]

$$U_f(x_f) = \frac{A \exp\left[j \frac{k}{2d} x_f^2\right]}{j\lambda d} \frac{f}{d} \cdot \iint_{-\infty}^{\infty} U(x_0) P(x_1) \exp\left[-j \frac{2\pi}{\lambda d} x_0 x_f\right] dx_0$$

[0037] Herein,

[0038]

[Numerical expression 2]

$$\Pi\left(\frac{X_1}{D}\right) = \begin{cases} 1(-D \leq x_1 \leq D) \\ 0(\text{any other}) \end{cases}$$

[0039] Herein,  $f$  denotes the focal length of the lens  $L$ ,  $\lambda$  denotes the wavelength,  $k = 2\pi/\lambda$ , and  $d$  denotes the distance from the phase medium to the image surface.

[0040]

[Numerical expression 3]

$$(j = \sqrt{-1})$$

[0041] Furthermore, it can be assumed that  $P(x_1)$  denotes a pupil function, however, herein, it denotes an amplitude distribution on the  $x_1$ -coordinate and can be expressed as follows:

[0042]

[Numerical expression 4]

$$P(x_1) = G(x_1) \cdot \Pi\left(\frac{X_1}{D}\right) \cdot \exp[j(2\pi/\lambda) \cdot W_E(X_1)] \quad \dots (2)$$

[0043] Furthermore,

[0044]

[Numerical expression 5]

$$X_1 = \frac{f}{d} X_D \quad \dots (3)$$

[0045] Therefore, (1) can be replaced as follows:

[0046]

[Numerical expression 6]

$$U_f(x_f) = \frac{A \exp\left[j \frac{k}{2d} x_f^2\right]}{j \lambda d} \frac{f}{d}$$

$$\bullet \int_{-\infty}^{\infty} U(X_0) G\left(\frac{f}{d} X_0\right) \cdot \Pi\left(\frac{f}{d} \frac{x_0}{D}\right) \cdot \exp\left[j(2\pi/\lambda) \cdot W_E\left(\frac{f}{d} X_0\right)\right]$$

$$\bullet \exp\left[-i \frac{2\pi}{\lambda d} X_0 x_f\right] dx_0 \quad \dots (4)$$

[0047] Herein, the Gaussian amplitude distribution  $G(x_1)$  is expressed as:

$$G(x_1) = G_1 \exp(-\alpha x_1^2) \quad \dots (5)$$

Furthermore, the amplitude change  $U_p(x_0)$  due to the phase medium is expressed as:

$$U_p(x_0) = B \exp[jW(x_0)] \quad \dots (6) \quad (B: \text{constant})$$

$W(x_0)$  denotes a wavefront aberration due to the phase medium, and is expressed as follows:

[0048]

[Numerical expression 7]

$$W(x_0) = 2\pi(n-1) \cdot F(x_0) / \lambda \quad \dots (7)$$

[0049] Herein,  $n$  denotes the refractive index of the phase medium,  $F(x_0)$  denotes a function showing the undulation form.

[0050] Based on Numerical expression (4), the inside of the integration takes the form of the Fourier transform. It is very difficult to manually calculate Numerical expression (4), and therefore, as in the case of Model 1, the mathematics of fast Fourier transform (FFT) are used.

[0051] Furthermore, when the point spread function (PSF) at the image forming surface is defined as  $PSF(x_t) \dots (8)$ ,

this expression (8) shows the beam profile at the image surface.

[0052] Furthermore, the amplitude distribution function of light that enters through the slit is described in detail. Based on Expression (4), the amplitude distribution function is composed of the light amount amplitude distribution  $G_1(x_1)$  of the laser reaching the slit,  $\Pi(x_1/D)$  regulating the slit, the amplitude change  $U_p(x_1)$  due to the phase medium, and the residual wavefront aberration  $W_E(x_1)$  generated by an optical system (collimator, etc.) except for the phase medium.

[0053] (2) Relationship between the Gaussian beam spreading degree and the slit width

As shown in Fig. 9, when light emitted from a laser reaches the slit via a collimator, the PSF form on the image surface to be evaluated differs depending on the degree of eclipsing the amplitude  $G_1(x_1)$  of the laser having a Gaussian distribution by the slit  $\Pi(x_1/D)$ .

[0054] Herein,

[0055]

[Numerical expression 8]

$$\Pi(X_1/D) = \begin{cases} 1(-D \leq x_1 \leq D) \\ 0(\text{any other}) \end{cases}$$

[0056] Therefore, herein, the eclipse degree of the Gaussian

beam must also be considered. The amplitude distribution function  $G(x_1)$  of the Gaussian beam in Expression (5) can be expressed by Expression (9).

[0057]

$$G(x_1) = G_1 \cdot \exp(-\alpha \cdot x_1^2) \dots (9)$$

( $G_1$ : amplitude value on the optical axis)

Herein,  $\alpha$  denotes a constant expressing the spreading degree of the Gaussian distribution in the amplitude distribution of the laser beam that has been emitted from a laser light source and reaches the slit via a collimator, and this constant is determined by the numerical aperture  $NA_{COL}$  of the collimator, the spreading angle (herein, half angle)  $\theta_{LD}$  of the laser in the horizontal scanning direction, and the slit width  $2D$ .

[0058] When the focal length of the collimator is defined as  $f_{COL}$ , the numerical aperture  $NA_{COL}$  of the collimator can be expressed as:

$$NA_{COL} = D/f_{COL}$$

[0059] Furthermore, the spreading angle  $\theta_{LD}$  of the laser is defined as an angle with an intensity of  $1/e^2$  of the maximum intensity of the intensity distribution profile having a Gaussian distribution.

[0060] This spreading angle is expressed by using the numerical aperture  $NA_{LD}$  as follows:

$$NA_{LD} = \sin(\theta_{LD}) \dots (10)$$

[0061] The spreading angle  $\theta_{LD}$  is defined as an angle with an intensity of  $1/e^2$  of the maximum intensity with respect to the intensity distribution, so that in the amplitude distribution, the angle is at the position at an amplitude of  $1/e$  of the maximum amplitude. When a position  $X_{ILD}$  on the slit corresponding to this is calculated, the position is expressed as:

$$G_1(X_{ILD}) = 1/e$$

Then, based on Expression (9), the following expression:

[0062]

[Numerical expression 9]

$$X_{ILD} = \sqrt{\alpha}$$

[0063] is derived.

[0064] In this case, from Fig. 10, the following relationship:

[0065]

[Numerical expression 10]

$$D/\sqrt{\alpha} = NA_{COL}/NA_{LD}$$

[0066] is satisfied.

[0067] The degree of eclipsing laser light by the slit is determined by the relationship between the numerical aperture  $NA_{COL}$  of the collimator and the numerical aperture  $NA_{LD}$  of the divergence angle of the laser. Therefore, when the following

relationship:

$$\epsilon = \text{NA}_{\text{COL}} / \text{NA}_{\text{LD}}$$

is defined by using the eclipse degree  $\epsilon$ , the following relationship:

[0068]

[Numerical expression 11]

$$\epsilon = D / \sqrt{\frac{1}{\alpha}}$$

[0069] is satisfied. When the value of the eclipse degree  $\epsilon$  is small, eclipsing of the light emitted from the laser by the slit increases, and when the eclipse degree  $\epsilon$  is great, eclipsing is reduced.

[0070] (3) Correspondence between description of phase medium and actual model of scanning optical system

When the function of undulation of the phase medium is defined as  $F(x_0)$  and wavefront aberration generated due to this phase medium is defined as  $W(x_0)$ , the relationship between the undulation of the phase medium and the wavefront aberration is expressed, as shown in Expression (7), by the following expression.

[0071]

[Numerical expression 12]

$$W(X_0) = 2\pi/\lambda \cdot (n-1)F(X_0) \dots (11)$$

[0072] (n denotes the refractive index of the phase medium.)

Herein, it is assumed that the phase medium is very thin. Therefore, in this model, no wavefront aberration change and no back-focus change as having an effect on the parallel plane plate of the phase medium are observed. Accordingly, the following expression:

[0073]

[Numerical expression 13]

$$U_P(X_0) = \exp[jW(X_0)] \\ = \exp[j2\pi/\lambda \cdot (n-1)F(X_0)] \quad \dots(12)$$

[0074] expresses an amplitude distribution change due to the phase medium.

[0075] Herein, the form of the undulation of the phase medium is considered as a sine function. The undulation form  $F(x_0)$  is expressed as:

[0076]

[Numerical expression 14]

$$F(X_0) = a \sin \frac{2\pi}{T_p} (X_0 + \delta) \dots(13)$$

[0077] Fig. 12 shows a sine function when the undulation of Fig. 11 is observed sideways.

[0078] Furthermore,  $a$  denotes the undulation amplitude,  $T_p$  denotes the undulation pitch, and  $\delta$  denotes the phase of the undulation with respect to the optical axis. Furthermore, the PV value of the undulation is expressed as follows,

necessarily:

$$PV = 2a \dots (14)$$

In an actual scanning optical system, as shown in Fig. 13, when the beam is scanned by a polygon mirror and undulation exists on the surface S4, the beam passes through the periodic undulation at almost a constant speed.

[0079] When this matter is considered in the abovementioned model, scanning by the polygon mirror of Fig. 13 can be considered as equivalent to shifting the phase medium of Figs. 14 with respect to the optical axis.

[0080] Then, it is expected that the profile form differences among the beam when the phase  $\delta = 0$  (A), the beam when the phase  $\delta = Tp/4$  (B), and the beam  $\delta$  when the phase  $\delta = Tp/2$  (C) appear as black lines.

[0081] (4) Residual wavefront aberration

In Model 2, to increase reality, wavefront aberration is also placed on the incidence beam when under consideration.

[0082] In an actual optical system, residual aberration exists in the collimator optical system which creates an incidence beam in this simulation, and in the scanning optical system, designed coma aberration also slightly exists when an image height is provided. These residual aberrations may influence black lines.

[0083] In this model, consideration is given regarding only the horizontal scanning direction, and it is one-dimensional, so that coma aberration and spherical aberration are placed on as wavefront aberration. When the wavefront aberration is transformed into a form obtained by approximately making Zernike development one-dimensional, the following numerical expression is derived:

[0084]

[Numerical expression 15]

$$9) \quad W_E(p) = SA \cdot (6p^4 - 6p^2 + 1) + CM(3p^2 - 2p^2) \dots (15)$$

[0085]  $p$  denotes a value obtained by normalizing the pupil radius. SA denotes a Zernike coefficient of the spherical aberration, and CM denotes a Zernike coefficient of the coma aberration. Furthermore, when SArms is defined as an rms value of the spherical aberration and CMrms is defined as an rms value of the coma aberration, the following numerical expression:

[0086]

[Numerical expression 16]

$$\left. \begin{array}{l} SA = \sqrt{5}SArms \\ CM = 2\sqrt{2}CMrms \end{array} \right\} \dots (16)$$

[0087] is derived.

[0088] Based on the abovementioned conditions, Expressions (4) and (8) are analyzed.

[0089] In the simulation described below, numerical analysis is carried out by using fast Fourier transform. Furthermore, in this simulation, a beam diameter at each clip level of the PSF beam profile is necessary to be obtained as a result, so that the PSF has been normalized at a maximum intensity. Therefore, the constant A of Expression (4), the constant  $G_1$  of Expression (5), and the constant B of Expression (6) are set to 1, respectively.

[0090] \* Embodiment simulation

(1) Common conditions

Only horizontal scanning is examined. The lens has a focal length  $f = 280\text{mm}$ , and the phase medium is installed at a position of 100mm from the image surface. Namely:

- Focal length  $f = 280\text{mm}$  (wavelength: 780nm)
- Phase medium positioned at 100mm from the image surface
- Refractive index of phase medium: 1.48595
- Wavelength: 780nm
- Three values of eclipse degree  $\epsilon$  are used for simulation considering scattering of the spreading angle of the laser although this degree is determined by  $NA_{\text{COL}} / NA_{\text{LD}}$  using  $NA_{\text{COL}}$  of the collimator lens and  $NA_{\text{LD}}$  due to the spreading angle with an intensity of  $1/e^2$  of the laser.

[0091]  $\epsilon = 0.767$

$\varepsilon = 0.623$

$\varepsilon = 1.000$

- In both cases where the intensity distribution changing means is provided or not provided, since the resolution is set in a condition where no undulation exists (PV 0 $\mu\text{m}$ ) and no residual aberration exists (spherical aberration rms value = 0 $\lambda$ , coma aberration rms value = 0 $\lambda$ ,  $\lambda = 780\text{nm}$ ), a slit is set so that the beam diameter at 1/e<sup>2</sup> (13.5%) becomes almost 60 $\mu\text{m}$  at an eclipse degree  $\varepsilon = 0.767$ .

[0092] (2) Simulation method

Simulation is carried out in the order of 1) and 2) described as follows.

[0093] 1) Estimating the center value of the laser spreading angle, when the present invention is not provided, and when the PV value of undulation of the phase medium of the embodiment of the invention and residual aberration are set to 0, a slit width 2D and a Gaussian coefficient  $\alpha$  are calculated from the following expression:

[0094]

[Numerical expression 17]

$$\varepsilon = D \cdot \sqrt{\alpha}$$

[0095] so that the beam diameter becomes almost 60 $\mu\text{m}$  at a clip level of 1/e<sup>2</sup> (13.5%).

[0096] With respect to these slit width  $2D$  and  $\alpha$ , a simulation is carried out when the PV and the residual aberration values of the undulation of the phase medium at the abovementioned three values of  $\epsilon$  become 0, whereby beam diameters at  $1/e^2$  are calculated and beam diameter scattering is observed.

[0097] 2) In this condition, a simulation assuming slight undulation existing on the lens surface is carried out.

[0098] Conditions of the phase medium assuming undulation of the lens surface

- PV value of undulation:  $0.05\mu n$  (machining limit)
- Undulation period: Set so that 1.65 periods correspond to a light flux that strikes the phase medium. In a case where the slit width  $2D = 6mm$  and the abovementioned conditions are set, the following relationship is satisfied:

$$T_p = d/f \cdot 2D / 1.65 \approx 1.3mm$$

- Undulation phase: one period from 0 to  $2\pi$ .
- Residual aberration: In the case of an LBP, aberrations existing in an LD and a collimator system and aberrations occurring from the time of designing in the scanning optical system are assumed and summed, whereby residual aberration is one-dimensionally set as an rms value of wavefront aberration.

(Coma aberration, spherical aberration)

(3) When no intensity distribution changing means is provided

1) Determination of slit width and Gaussian coefficient

To set the beam diameter to almost  $60\mu\text{m}$  at  $\epsilon = 0.767$  and  $1/e^2$ , the half value D of the slit width = 3mm and the Gaussian coefficient  $\alpha = 0.0653$ , wherein the following results:

[0099]

[Table 1]

$\epsilon$	Beam diameter ( $\mu\text{m}$ )		
	13.5%	6%	4%
(a) 0.767	61.2	70.1	73.7
(b) 0.623	56.7	64.7	67.8
(c) 1.000	71.0	82.0	86.8

[0100] are obtained.

[0101] 2) Verification of a beam diameter change due to an undulation phase change with respect to the optical axis when a phase medium with an undulation of PV  $0.05\mu\text{m}$  with respect to each eclipse degree  $\epsilon$  is installed

- Residual aberration: spherical aberration rms =  $0.025\lambda$ , coma aberration rms =  $0.025\lambda$
- Undulation period:  $T_p = 1.3\text{mm}$  (1.65 periods with respect to a light flux that strikes the phase medium)
- Undulation phase: A beam diameter change in response to a change from 0 to  $2\pi$  is observed.

[0102]

Results Figs. 15 (a)  $\epsilon = 0.767$

(b)  $\epsilon = 0.623$

(c)  $\epsilon = 1.000$

As a result, as shown in Figs. 15(a) and (b), it is understood that when the value of  $\epsilon$  is small, both a phase that is influenced by a side lobe and a phase that is not influenced by a side lobe exist, and a beam diameter change at a clip level of 6% remarkably increase. This is considered to cause black lines in printing.

[0103] When  $\epsilon$  becomes larger, as shown in Fig. 15(c), the phase is not influenced by the side lobe, and at a clip level of 6%, the beam diameter change becomes smaller. Therefore, it is understood that black lines hardly occur as the eclipse degree  $\epsilon$  becomes smaller. However, it is also understood that when a semiconductor laser is used as a light source, laser spreading angle scattering is great, and the scattering in the laser spreading angle causes black lines when printing.

[0104] (4) Detailed examples of intensity distribution changing means

As examples of the intensity distribution changing means, six types of intensity distribution changing means having transmittance distributions in the horizontal scanning direction shown by 1) through 4) of Fig. 16 and 5) and 6) of

Fig. 17 are used.

[0105] Example 1

Example 1 is an intensity distribution changing means having an amplitude transmittance in the horizontal scanning direction as shown by 1) of Fig. 16, wherein the amplitude transmittance at the periphery of the optical axis is almost 100%, and becomes almost 50% at the periphery of the aperture in the horizontal scanning direction. Furthermore, the transmittance distribution of this intensity distribution changing means linearly lowers from the periphery of the optical axis to the periphery of the aperture in the horizontal scanning direction.

[0106] In a case where the optical axis is set as an origin, when a coordinate in the horizontal scanning direction is defined as  $x$ , the amplitude transmittance of the intensity distribution changing means is defined as  $T(x)$  (unit: %), and the radius of the aperture (or distance from the optical axis to the end of the aperture) is defined as  $D$ , the amplitude transmittance of the intensity distribution changing means is expressed as:

$$T(x) = (1 - 0.5 \cdot x/D)$$

[0107] A simulation using the abovementioned model in the case where this intensity distribution changing means was used was

carried out to verify its effect.

[0108] Simulation verification

1) Determination of slit width and Gaussian coefficient

In order to obtain a beam diameter of almost  $60\mu\text{m}$  in the case of  $\epsilon = 0.767$  and  $1/e^2$ , the half value D of the slit width = 3.4mm and the Gaussian coefficient  $\alpha = 0.0509$ , wherein the following results:

[0109]

[Table 2]

$\epsilon$	Beam diameter ( $\mu\text{m}$ )		
	13.5%	6%	4%
(a) 0.767	61.0	70.8	74.8
(b) 0.623	56.6	65.2	68.8
(c) 1.000	70.3	82.3	87.6

[0110] are obtained.

[0111] 2) Verification of beam diameter change due to phase change of undulation with respect to an optical axis when a phase medium with an undulation of PV  $0.05\mu\text{m}$  with respect to each eclipse degree  $\epsilon$  is installed

- Residual aberration: spherical aberration rms =  $0.025\lambda$ , coma aberration rms =  $0.025\lambda$
- Undulation period:  $T_p = 1.5\text{mm}$  (approximately 1.65 periods of undulation with respect to a light flux that strikes the

phase medium)

- Undulation phase: A beam diameter change in response to a change from 0 to  $2\pi$  is observed.

[0112] Results Figs. 18 (a)  $\varepsilon = 0.767$

(b)  $\varepsilon = 0.623$

(c)  $\varepsilon = 1.000$

As seen in Fig. 18(a) through Fig. 18(c), the beam diameter at a clip level of 6% is not influenced by the side lobe. In comparison to a case where no intensity distribution changing means is provided, it is understood that the influence is smaller in the case using the intensity distribution changing means of Example 1.

[0113] As shown in Figs. 18(a) and (b), when the eclipse degree  $\varepsilon$  is at a small value ( $\varepsilon = 0.623$ ) and a light amount distribution in the horizontal scanning direction of light before passing through the intensity distribution changing means approaches uniformity, although a beam diameter of a clip level of 4% is influenced by a side lobe, this hardly influences an actual image. However, it may be influenced in a case where a photoreceptor with a high sensitivity is used, so that it is desirable that a laser and a photoreceptor whose beam diameter changes are hardly influenced at a clip level of 4% are used.

[0114] Example 2

Example 2 is an intensity distribution changing means with an amplitude transmittance in the horizontal scanning direction as shown by 2) of Fig. 16, wherein the amplitude transmittance becomes almost 100% at the periphery of the optical axis, and becomes almost 20% at the periphery of the aperture in the horizontal scanning direction. Furthermore, the transmittance distribution of this intensity distribution changing means linearly lowers from the periphery of the optical axis to the periphery of the aperture in the horizontal scanning direction.

[0115] In a case where the optical axis is set as an origin, when the coordinate in the horizontal scanning direction is defined as  $x$ , the amplitude transmittance of the intensity distribution changing means is defined as  $T(x)$  (unit: %), and the radius of the aperture (or distance from the optical axis to the end of the aperture) is defined as  $D$ , the amplitude transmittance of the intensity distribution changing means is expressed as follows:

$$T(x) = (1 - 0.8 \cdot x/D)$$

[0116] A simulation using the abovementioned model in a case where this intensity distribution changing means was used was carried out to verify its effect.

[0117] Simulation verification

1) Determination of slit width and Gaussian coefficient

In order to obtain a beam diameter of almost  $60\mu\text{m}$  at  $\epsilon = 0.767$  and  $1/e^2$ , the half value D of the slit width = 3.9mm and the Gaussian coefficient  $\alpha = 0.0387$ , wherein the following results:

[0118]

[Table 3]

$\epsilon$	Beam diameter ( $\mu\text{m}$ )		
	13.5%	6%	4%
(a) 0.767	60.5	70.9	75.5
(b) 0.623	56.5	65.9	70.0
(c) 1.000	68.4	80.9	86.5

[0119] are obtained.

[0120] Verification of beam diameter change in response to phase change of undulation with respect to the optical axis when a phase medium with an undulation of PV  $0.05\mu\text{m}$  with respect to each eclipse degree  $\epsilon$  is provided

- Residual aberration: Spherical aberration rms =  $0.025\lambda$ , coma aberration rms =  $0.025\lambda$
- Undulation period:  $T_p = 1.7\text{mm}$  (approximately 1.65 periods with respect to a light flux that strikes the phase medium)
- Undulation phase: A beam diameter change in response to a change from 0 to  $2\pi$  is observed.

[0121]

Results Figs. 19 (a)  $\epsilon = 0.767$

(b)  $\epsilon = 0.623$

(c)  $\epsilon = 1.000$

As seen in Fig. 19(a) through Fig. 19(c), the beam diameters at clip levels of 4% and 6% are not influenced by a side lobe. In comparison to the case where no intensity distribution changing means is provided, it is understood that the side lobe influence becomes smaller in the case where the intensity distribution changing means of Example 2 is used.

[0122] Furthermore, in the intensity distribution changing means of Example 2, even the beam diameter at a clip level of 4% is not influenced by the side lobe, and a beam diameter change in response to an undulation phase change is not so great, so that black lines are hardly caused in comparison to the intensity distribution changing means of Example 1.

[0123] Example 3

Example 3 is an intensity distribution changing means with an amplitude transmittance in the horizontal scanning direction as shown by 3) in Fig. 16, and the amplitude transmittance at the periphery of the optical axis is almost 100%, and the amplitude transmittance at the periphery of the aperture in the horizontal scanning direction is almost 50%. Furthermore, the transmittance distribution of this intensity distribution

changing means quadratically lowers from the periphery of the optical axis to the periphery of the aperture in the horizontal scanning direction.

[0124] In a case where the optical axis is set as an origin, when a coordinate in the horizontal scanning direction is defined as  $x$ , the amplitude transmittance of the intensity distribution changing means is defined as  $T(x)$  (unit: %), and the radius of the aperture (or distance from the optical axis to the end of the aperture) is defined as  $D$ , the amplitude transmittance of the intensity distribution changing means is expressed as follows:

$$T(x) = (1 - 0.5 \cdot (x/D)^2)$$

[0125] A simulation using the abovementioned model in a case where this intensity distribution changing means was used was carried out to verify its effect.

[0126] Simulation verification

1) Determination of slit width and Gaussian coefficient

In order to obtain a beam diameter of almost  $60\mu\text{m}$  at  $\epsilon = 0.767$  and  $1/e^2$ , the half value  $D$  of the slit width = 3.35mm, and the Gaussian coefficient  $\alpha = 0.0524$ , wherein the following results:

[0127]

[Table 4]

$\varepsilon$	Beam diameter ( $\mu\text{m}$ )		
	13.5%	6%	4%
(a) 0.767	60.8	70.1	73.9
(b) 0.623	56.6	65.0	68.4
(c) 1.000	69.5	80.8	85.6

[0128]

are obtained.

[0129] 2) Verification of a beam diameter change due to an undulation phase change with respect to the optical axis when a phase medium with an undulation of PV  $0.05\mu\text{m}$  with respect to each eclipse degree  $\varepsilon$  is installed

- Residual aberration: spherical aberration rms =  $0.025\lambda$ , coma aberration rms =  $0.025\lambda$
- Undulation period:  $T_p = 1.5\text{mm}$  (approximately 1.65 periods with respect to a light flux that strikes the phase medium)
- Undulation phase: A beam diameter change in response to a change from 0 to  $2\pi$  is observed.

[0130]

Results Figs. 20 (a)  $\varepsilon = 0.767$

(b)  $\varepsilon = 0.623$

(c)  $\varepsilon = 1.000$

As shown in Figs. 20(a) and (b), when the eclipse degree  $\varepsilon$  is at a small value and the light amount distribution in the

horizontal scanning direction of light before passing through the intensity distribution changing means approaches uniformity, the beam diameter at a clip level of 4% is influenced by a side lobe. Furthermore, in a case where the eclipse degree  $\varepsilon = 0.623$ , the beam diameter at a clip level of 6% is also easily influenced by a side lobe and a beam diameter change in response to a phase change of an undulation of PV  $0.05\mu\text{m}$  increases, however, In comparison to a case where no intensity distribution changing means is provided, the influence on the beam diameter from the side lobe is smaller.

[0131] Example 4

Example 4 is an intensity distribution changing means of an amplitude transmittance in the horizontal scanning direction as shown by 4) of Fig. 16, wherein the amplitude transmittance at the periphery of the optical axis is almost 100%, and the amplitude transmittance at the periphery of the aperture is almost 20%. Furthermore, the transmittance distribution of this intensity distribution changing means quadratically lowers from the periphery of the optical axis to the periphery of the aperture in the horizontal scanning direction.

[0132] In a case where the optical axis is set as an origin, when a coordinate in the horizontal scanning direction is defined as  $x$ , the amplitude transmittance of the intensity

distribution changing means is defined as  $T(x)$  (unit: %), and the radius of the aperture (or distance from the optical axis to the end of the aperture) is defined as  $D$ , the amplitude transmittance of the intensity distribution changing means is expressed as follows:

$$T(x) = (1 - 0.8 \cdot (x/D)^2)$$

[0133] A simulation using the abovementioned model in a case where this intensity distribution changing means was used was carried out to verify its effect.

[0134] Simulation verification

1) Determination of slit width and Gaussian coefficient

In order to obtain a beam diameter of almost  $60\mu\text{m}$  at  $\epsilon = 0.767$  and  $1/e^2$ , the half value  $D$  of the slit width = 3.70mm, and the Gaussian coefficient  $\alpha = 0.0430$ , wherein the following results:

[0135]

[Table 5]

$\epsilon$	Beam diameter ( $\mu\text{m}$ )		
	13.5%	6%	4%
(a) 0.767	59.9	69.3	73.2
(b) 0.623	56.3	64.9	68.5
(c) 1.000	67.2	78.3	83.0

[0136]

are obtained.

[0137] 2) Verification of a beam diameter change due to an undulation phase change with respect to the optical axis when a phase medium with an undulation of PV  $0.05\mu\text{m}$  with respect to each eclipse degree  $\epsilon$  is installed

- Residual aberration: spherical aberration rms =  $0.025\lambda$ , coma aberration rms =  $0.025\lambda$
- Undulation period:  $T_p = 1.6\text{mm}$  (approximately 1.65 periods with respect to a light flux that strikes the phase medium)
- Undulation phase: A beam diameter change in response to a change from 0 to  $2\pi$  is observed.

[0138]

Results Figs. 21 (a)  $\epsilon = 0.767$

(b)  $\epsilon = 0.623$

(c)  $\epsilon = 1.000$

As seen in Fig. 21(a) through Fig. 21(c), the beam diameter at a clip level of 6% is not influenced by a side lobe. In comparison to a case where no intensity distribution changing means is provided, it is clearly understood that there is no influence from a side lobe.

[0139] As shown in Fig. 21(b), when the eclipse degree  $\epsilon$  is at a small value ( $\epsilon = 0.623$ ) and the light amount distribution in the horizontal scanning direction of light before passing

through the intensity distribution changing means approaches uniformity, the beam diameter at a clip level of 4% is influenced by a side lobe. In this example, as in Example 1, it is desirable that a laser and a photoreceptor whose beam diameter changes at a clip level of 4% are hardly influenced are used.

[0140] Example 5

Example 5 is an intensity distribution changing means of an amplitude transmittance in the horizontal scanning direction as shown by 5) of Fig. 17, wherein the amplitude transmittance at the periphery of the optical axis is almost 100%, and the amplitude transmittance at the periphery of the aperture in the horizontal scanning direction is almost 50%. Furthermore, the transmittance distribution of this intensity distribution changing means cosinely lowers from the periphery of the optical axis to the periphery of the aperture in the horizontal scanning direction.

[0141] In a case where the optical axis is set as an origin, when a coordinate in the horizontal scanning direction is defined as  $x$ , the amplitude transmittance of the intensity distribution changing means is defined as  $T(x)$  (unit: %), and the radius of the aperture (or distance from the optical axis to the end of the aperture) is defined as  $D$ , by the following

expression:

[0142]

[Numerical expression 18]

$$T(x) = 0.25 \cdot (1 + \cos(\pi \cdot x / D)) + 0.5$$

[0143] the amplitude transmittance of the intensity distribution changing means is expressed.

[0144] A simulation using the abovementioned model in a case where this intensity distribution changing means was used was carried out to verify its effect.

[0145] Simulation verification

1) Determination of slit width and Gaussian coefficient

In order to obtain a beam diameter of almost  $60\mu\text{m}$  at  $\epsilon = 0.767$  and  $1/e^2$ , the half value  $D$  of the slit width = 3.50mm, and the Gaussian coefficient  $\alpha = 0.0480$ , wherein the following results:

[0146]

[Table 6]

$\epsilon$	Beam diameter ( $\mu\text{m}$ )		
	13.5%	6%	4%
(a) 0.767	61.1	71.0	75.2
(b) 0.623	56.6	65.5	69.2
(c) 1.000	70.2	82.3	87.7

[0147]

are obtained.

[0148] 2) Verification of a beam diameter change due to an undulation phase change with respect to the optical axis when a phase medium with an undulation of PV  $0.05\mu\text{m}$  with respect to each eclipse degree  $\epsilon$  is installed

- Residual aberration: spherical aberration rms =  $0.025\lambda$ , coma aberration rms =  $0.025\lambda$
- Undulation period:  $T_p = 1.5\text{mm}$  (approximately 1.65 periods with respect to a light flux that strikes the phase medium)
- Undulation phase: A beam diameter change in response to a change from 0 to  $2\pi$  is observed.

[0149]

Results Figs. 22 (a)  $\epsilon = 0.767$

(b)  $\epsilon = 0.623$

(c)  $\epsilon = 1.000$

As seen in Fig. 22(a) through Fig. 22(c), the beam diameter at a clip level of 6% is not influenced by a side lobe. In comparison to a case where no intensity distribution changing means is provided, it is clearly understood that there is no influence from a side lobe.

[0150] As shown in Fig. 22(b), when the eclipse degree  $\epsilon$  is at a small value ( $\epsilon = 0.623$ ) and the light amount distribution in the horizontal scanning direction of light before passing

through the intensity distribution changing means approaches uniformity, the beam diameter at a clip level of 4% is influenced by a side lobe. Furthermore, the influence on a beam diameter change in response to a phase change of undulation of PV  $0.05\mu\text{m}$  is smaller than in Example 1. In this example, as in Example 1, it is desirable that a laser and a photoreceptor whose beam diameter changes at a clip level of 4% are not influenced are used.

[0151] Example 6

Example 6 is an intensity distribution changing means of an amplitude transmittance in the horizontal scanning direction as shown by 6) of Fig. 17, wherein the amplitude transmittance at the periphery of the optical axis is almost 100%, and the amplitude transmittance at the periphery of the aperture in the horizontal scanning direction is almost 20%. Furthermore, the transmittance distribution of this intensity distribution changing means cosinely lowers from the periphery of the optical axis to the periphery of the aperture in the horizontal scanning direction.

[0152] In a case where the optical axis is set as an origin, when a coordinate in the horizontal scanning direction is defined as  $x$ , the amplitude transmittance of the intensity distribution changing means is defined as  $T(x)$  (unit: %), and

the radius of the aperture (or distance from the optical axis to the end of the aperture) is defined as D, by the following expression:

[0153]

[Numerical expression 19]

$$T(x) = 0.4 \cdot (1 + \cos(\pi \cdot x / D)) + 0.2$$

[0154] the amplitude transmittance of the intensity distribution changing means is expressed.

[0155] A simulation using the abovementioned model in a case where this intensity distribution changing means was used was carried out to verify its effect.

[0156] Simulation verification

1) Determination of slit width and Gaussian coefficient

In order to obtain a beam diameter of almost  $60\mu\text{m}$  at  $\epsilon = 0.767$  and  $1/e^2$ , the half value D of the slit width = 4.10mm, and the Gaussian coefficient  $\alpha = 0.0350$ , wherein the following results:

[0157]

[Table 7]

$\epsilon$	Beam diameter ( $\mu\text{m}$ )		
	13.5%	6%	4%
(a) 0.767	61.2	72.0	76.7
(b) 0.623	57.4	67.4	71.7

( c )	1.000	68.4	80.7	86.2
-------	-------	------	------	------

[0158]

are obtained.

[0159] 2) Verification of a beam diameter change due to an undulation phase change with respect to the optical axis when a phase medium with an undulation of PV  $0.05\mu\text{m}$  with respect to each eclipse degree  $\epsilon$  is installed

- Residual aberration: spherical aberration rms =  $0.025\lambda$ , coma aberration rms =  $0.025\lambda$
- Undulation period:  $T_p = 1.8\text{mm}$  (approximately 1.65 periods with respect to a light flux that strikes the phase medium)
- Undulation phase: A beam diameter change in response to a change from 0 to  $2\pi$  is observed.

[0160]

Results Figs. 23 (a)  $\epsilon = 0.767$

(b)  $\epsilon = 0.623$

(c)  $\epsilon = 1.000$

As seen in Fig. 23(a) through Fig. 23(c), the beam diameters at clip levels of 4% and 6% are not influenced by a side lobe. In comparison to a case where no intensity distribution changing means is provided, it is clearly understood that there is no influence from a side lobe. Furthermore, in the intensity distribution changing means of this example, even the beam

diameter at a clip level of 4% is not influenced by a side lobe, and a great beam diameter change does not occur in response to a phase change of undulation, so that black lines are not caused.

[0161] The intensity distribution changing means shown in the examples mentioned above are only required to change a light flux having a uniform light amount distribution into a light flux having a predetermined amplitude distribution without phase distribution changes when the light flux passes through, and therefore the means may be formed of an intensity distribution changing filter or a coating film on optical elements. In the case where the intensity distribution changing means is a filter, a slit may be integrally formed.

[0162]

[Effects of the Invention] An effect of the invention relating to Claim 1 is that black lines can be prevented.

[0163] An effect of the invention relating to Claim 2 is that arrangement is easy and the optical system can be easily constructed.

[0164] An effect of the invention relating to Claim 3 is that any further increase in the number of parts is not necessary, and the degree of freedom of optical arrangement is high.

[0165] An effect of the invention relating to Claim 4 is that

the intensity distribution changing means can be easily manufactured and mass production thereof is easy.

[0166] An effect of the invention relating to Claim 5 is that allowance for the occurrence of black lines increases.

[0167] As described above, the invention provides a scanning optical system which can prevent the occurrence of black lines and has a great advantage in terms of costs.

[BRIEF DESCRIPTION OF THE DRAWINGS]

[Fig. 1] A diagram showing an example of a scanning optical system.

[Figs. 2] Diagrams showing micro undulation on the lens surface.

[Fig. 3] A diagram showing a beam profile and respective clip levels.

[Fig. 4] A diagram showing undulation of the beam profile on the lens surface and horizontal scanning measured values at the respective clip levels.

[Fig. 5] A diagram showing undulation of the beam profile on the lens surface and vertical scanning measured values at the respective clip levels.

[Fig. 6] A diagram showing undulation of the beam profile on another lens surface and horizontal scanning measured values at the respective clip levels.

[Fig. 7] A diagram showing undulation of the beam profile on another lens surface and vertical scanning measured values at the respective clip levels.

[Fig. 8] A diagram showing a model for analyzing influence on a beam profile from undulation on an optical surface.

[Fig. 9] A diagram showing a condition where light emitted from a laser reaches a slit via a collimator.

[Fig. 10] A diagram showing a Gaussian distribution and the slit.

[Fig. 11] A diagram showing a phase medium having undulation of a sine function.

[Fig. 12] A diagram showing the undulation of Fig. 11 sideways.

[Fig. 13] A diagram showing beam scanning by the polygon mirror of the scanning optical system.

[Figs. 14] Diagrams corresponding to beam profiles a, b, and c in response to beam scanning of Fig. 13.

[Figs. 15] Diagrams showing beam diameter changes in response to a phase change (0 to  $2\pi$ ) of undulation at each eclipse degree.

[Fig. 16] A diagram showing four types of transmittance distributions 1) through 4) by the intensity distribution changing means.

[Fig. 17] A diagram showing two types of transmittance distributions 5) and 6) by the intensity distribution changing

means.

[Figs. 18] Diagrams showing beam diameter changes in Example 1.

[Figs. 19] Diagrams showing beam diameter changes in Example 2.

[Figs. 20] Diagrams showing beam diameter changes in Example 3.

[Figs. 21] Diagrams showing beam diameter changes in Example 4.

[Figs. 22] Diagrams showing beam diameter changes in Example 5.

[Figs. 23] Diagrams showing beam diameter changes in Example 6.

[Description of Symbols]

a undulation amplitude

$\delta$  undulation phase with respect to optical axis

D half value of slit width

L ideal lens

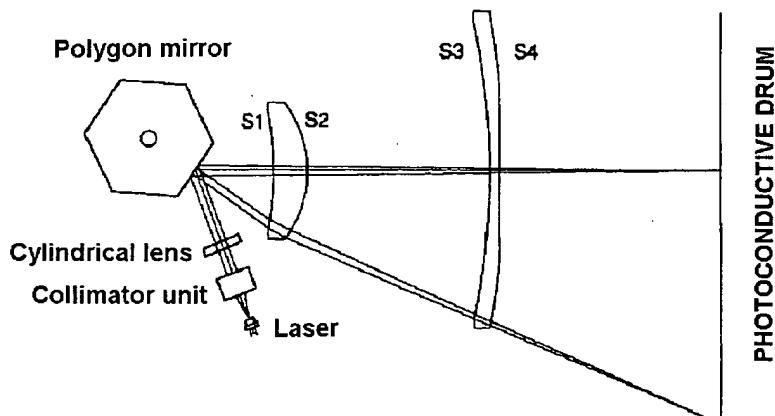
n refractive index

P phase medium

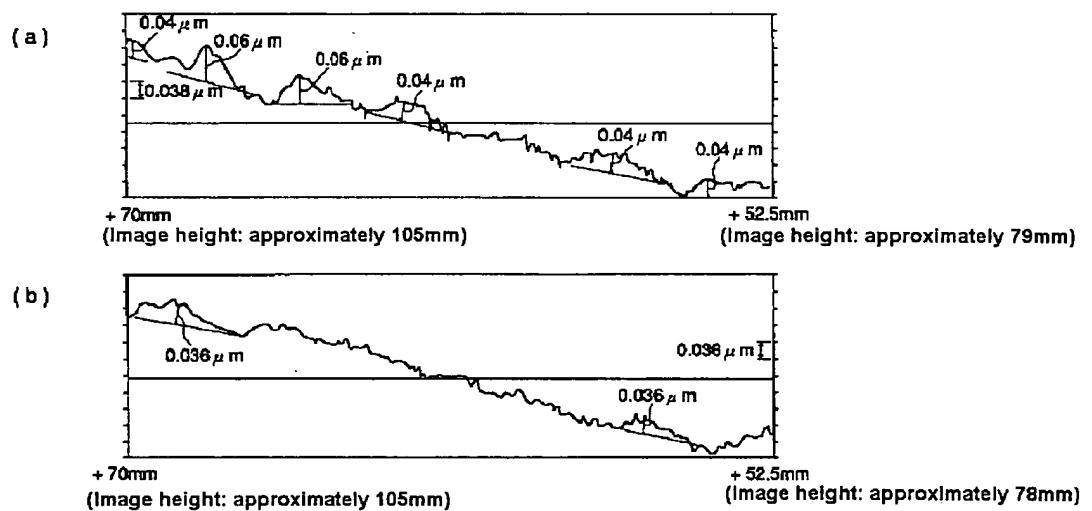
S slit

T<sub>p</sub> undulation pitch

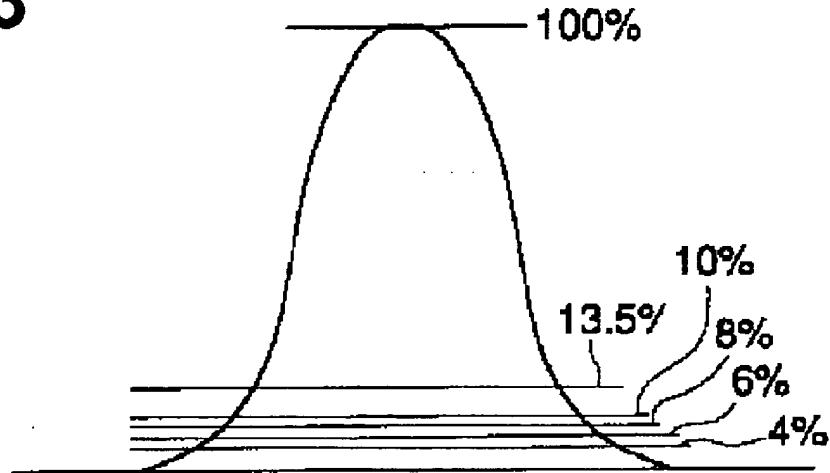
# Fig.1



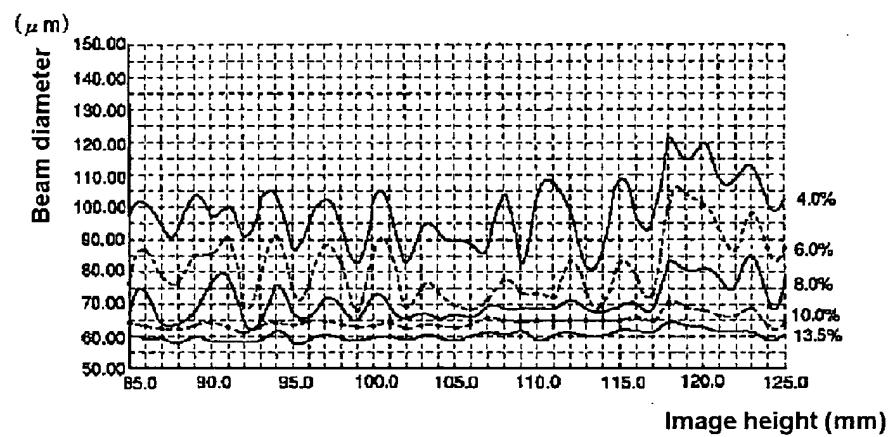
# Fig.2



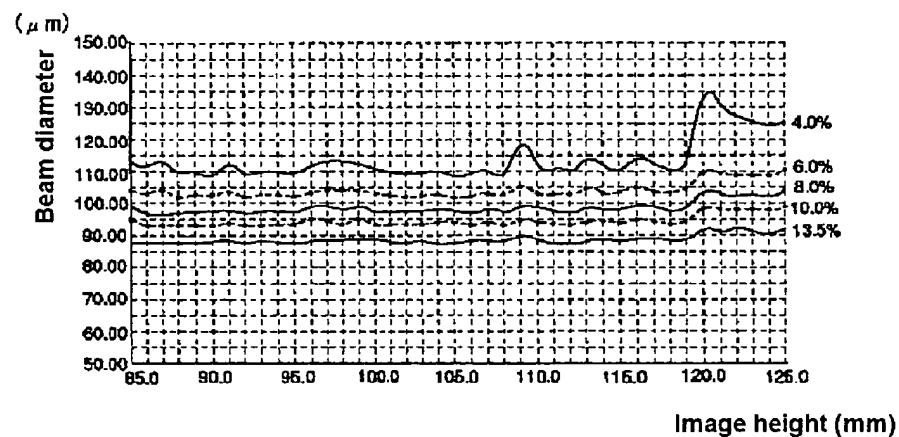
# Fig.3



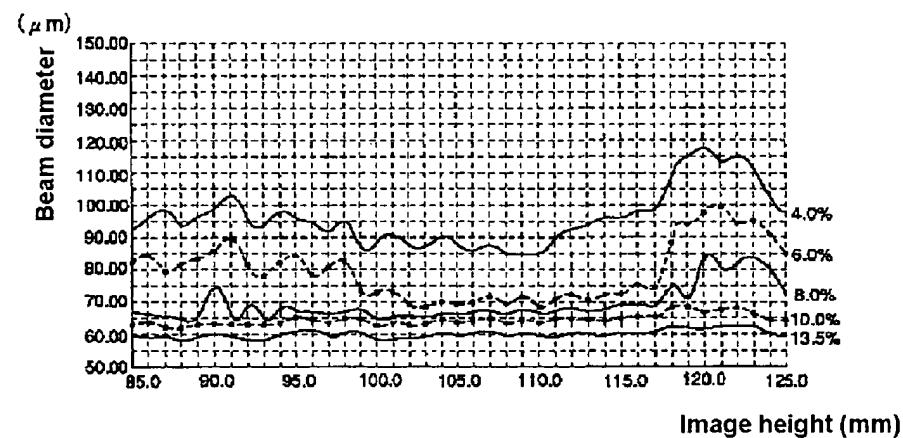
# Fig.4



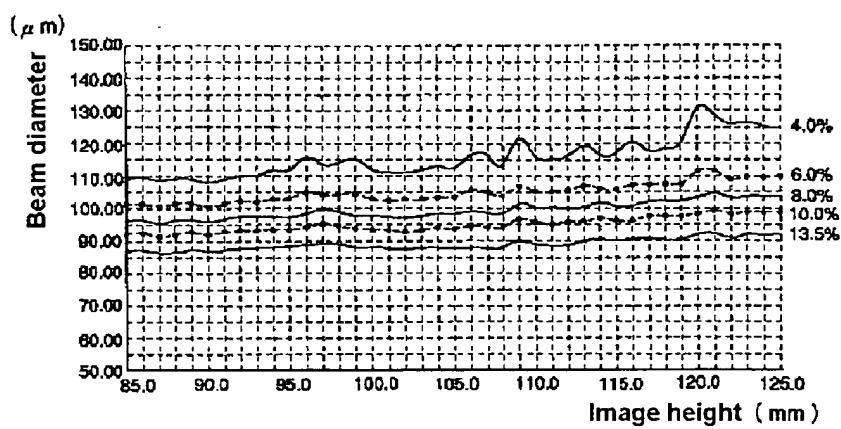
# Fig.5



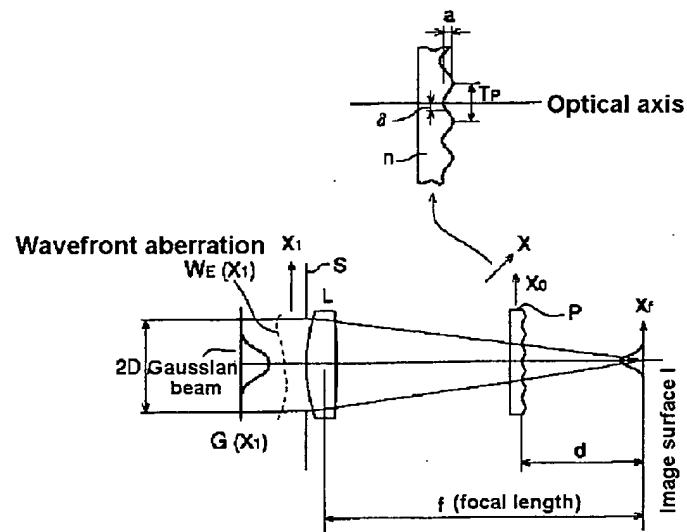
# Fig.6



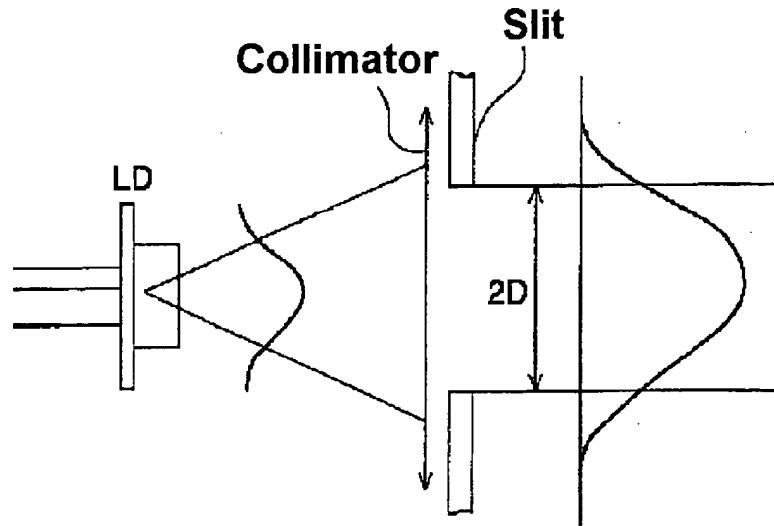
# Fig.7



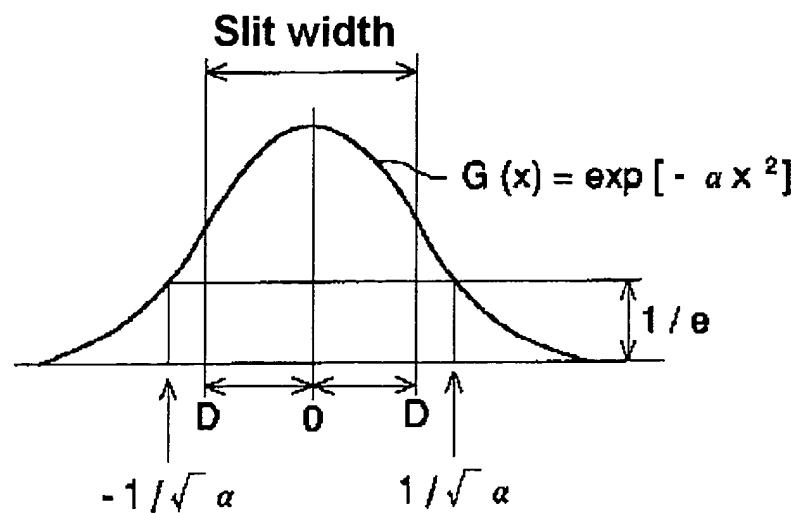
# Fig.8



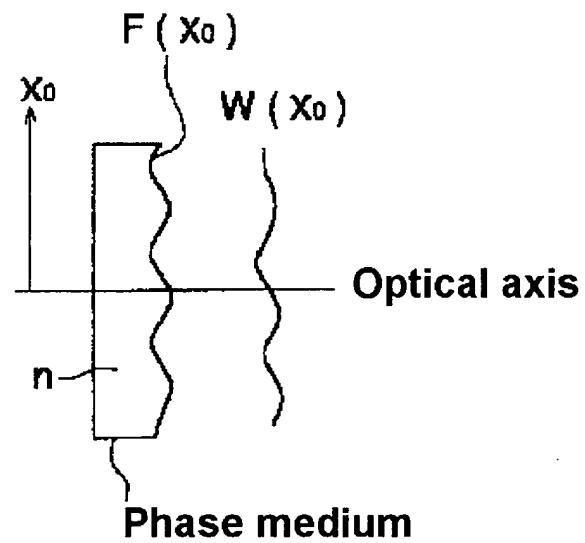
# Fig.9



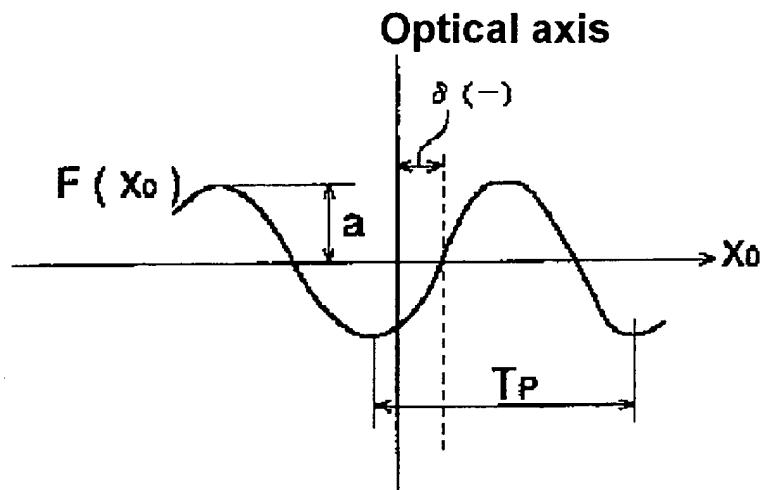
## Fig.10



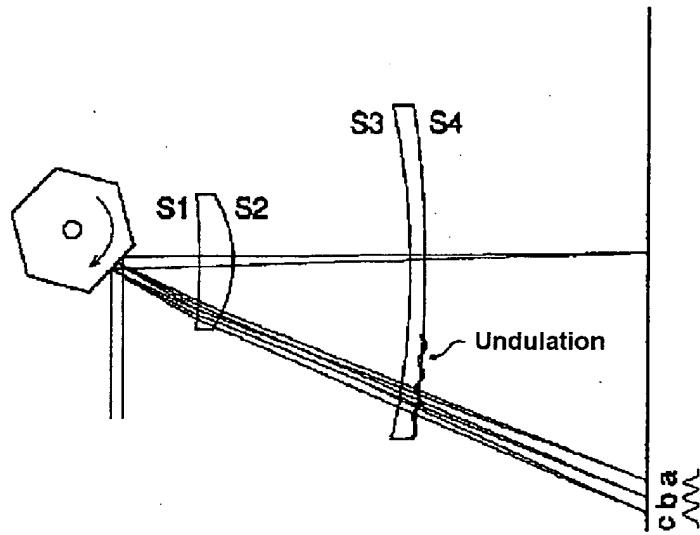
## Fig.11



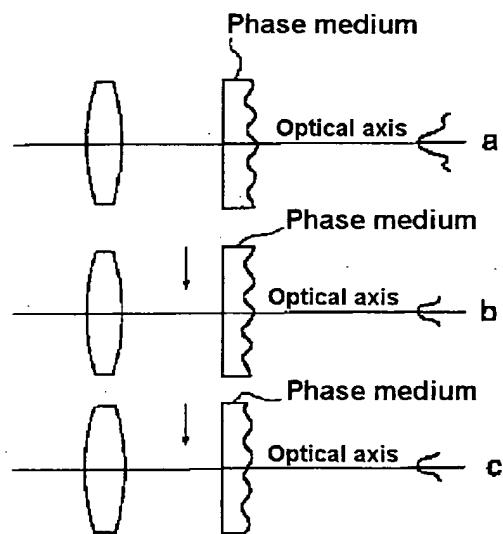
## Fig.12



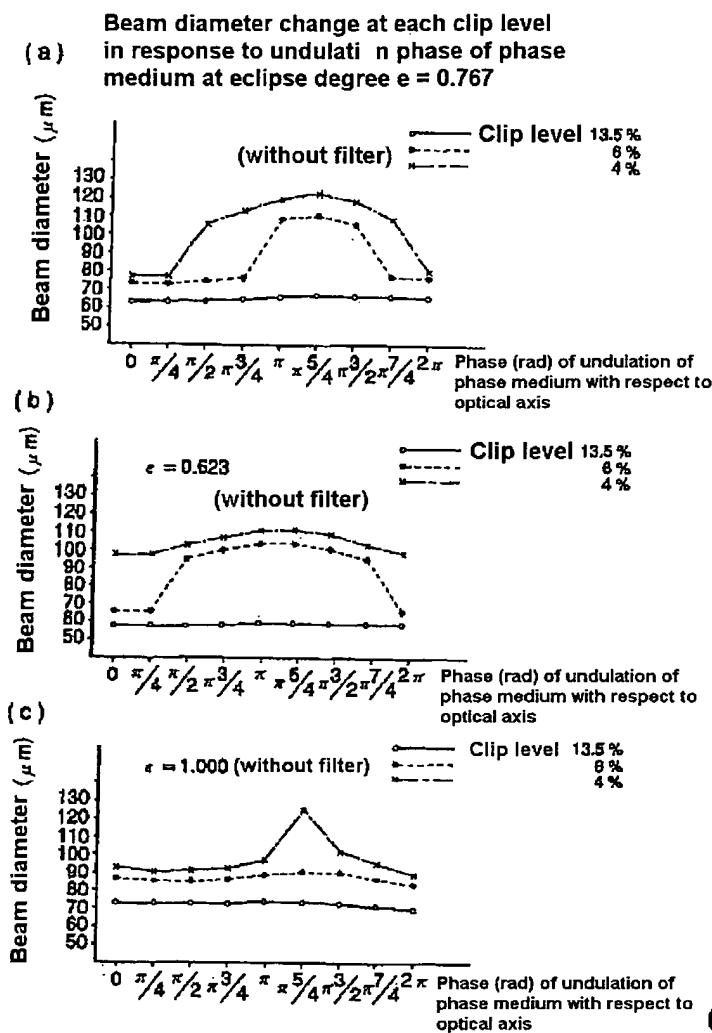
# Fig.13



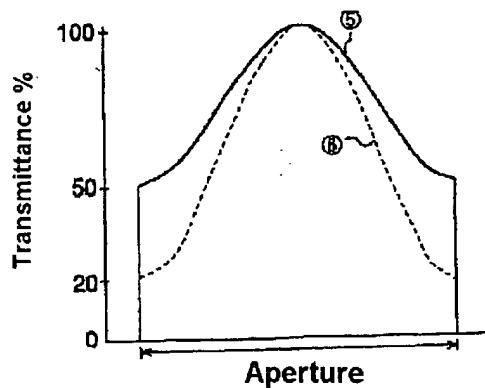
# Fig.14



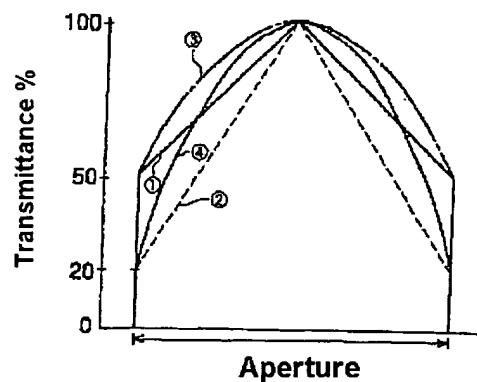
# Fig.15



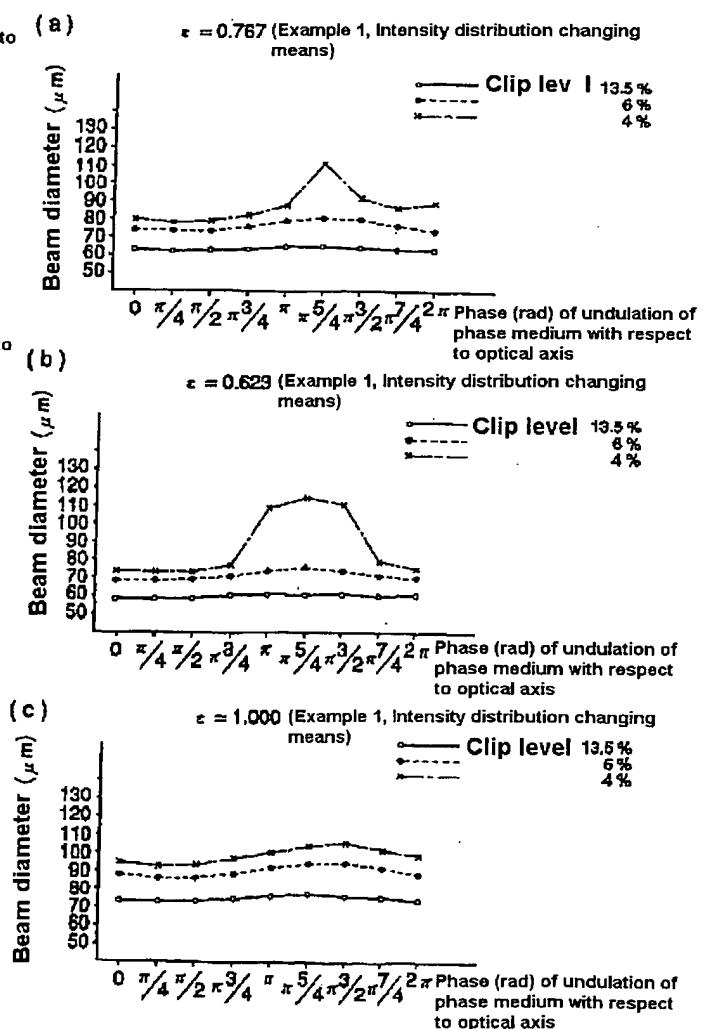
# Fig.17



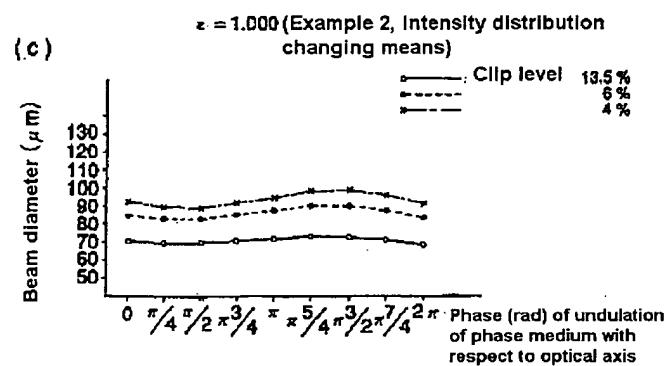
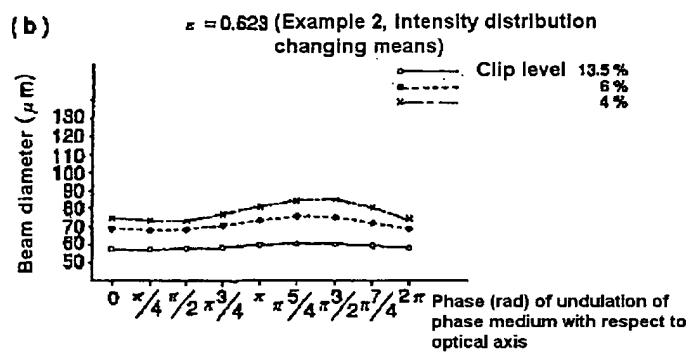
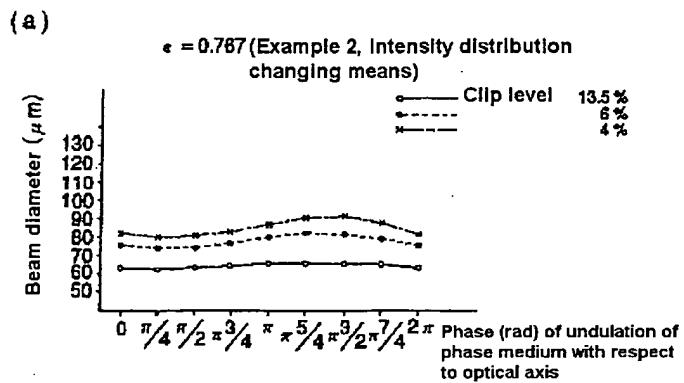
# Fig.16



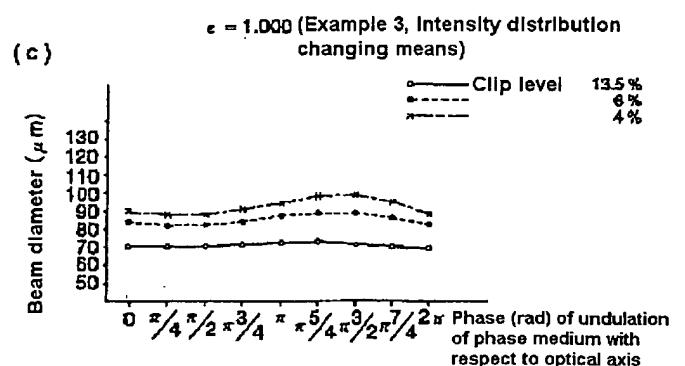
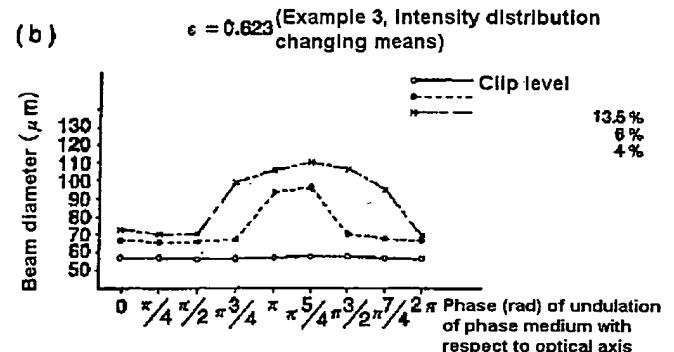
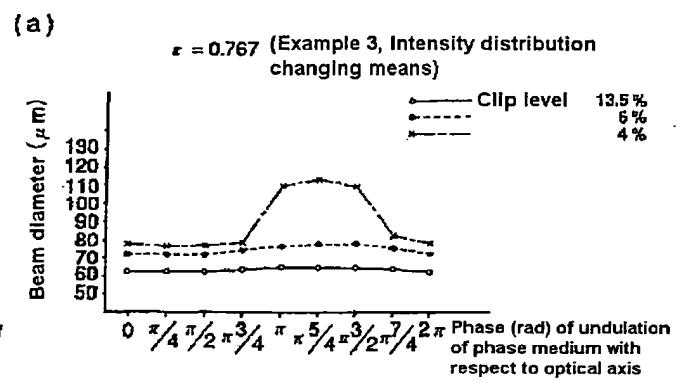
# Fig.18



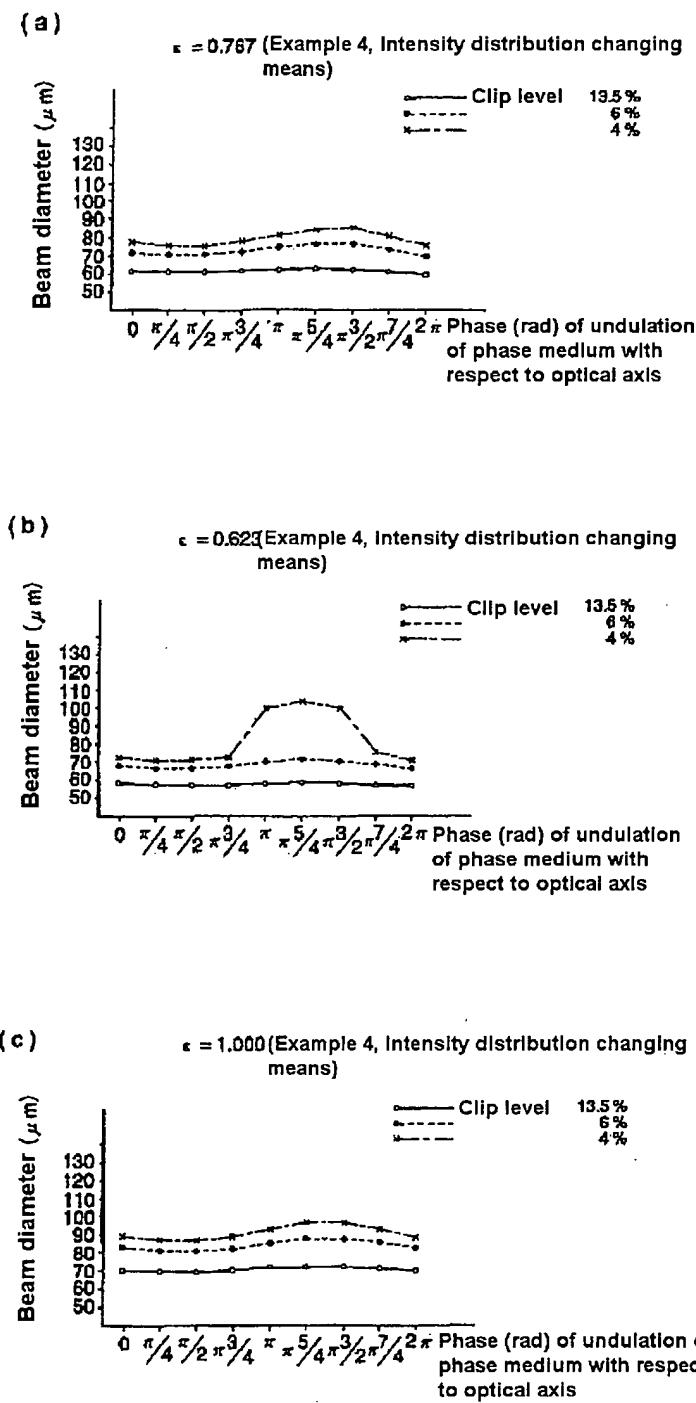
# Fig.19



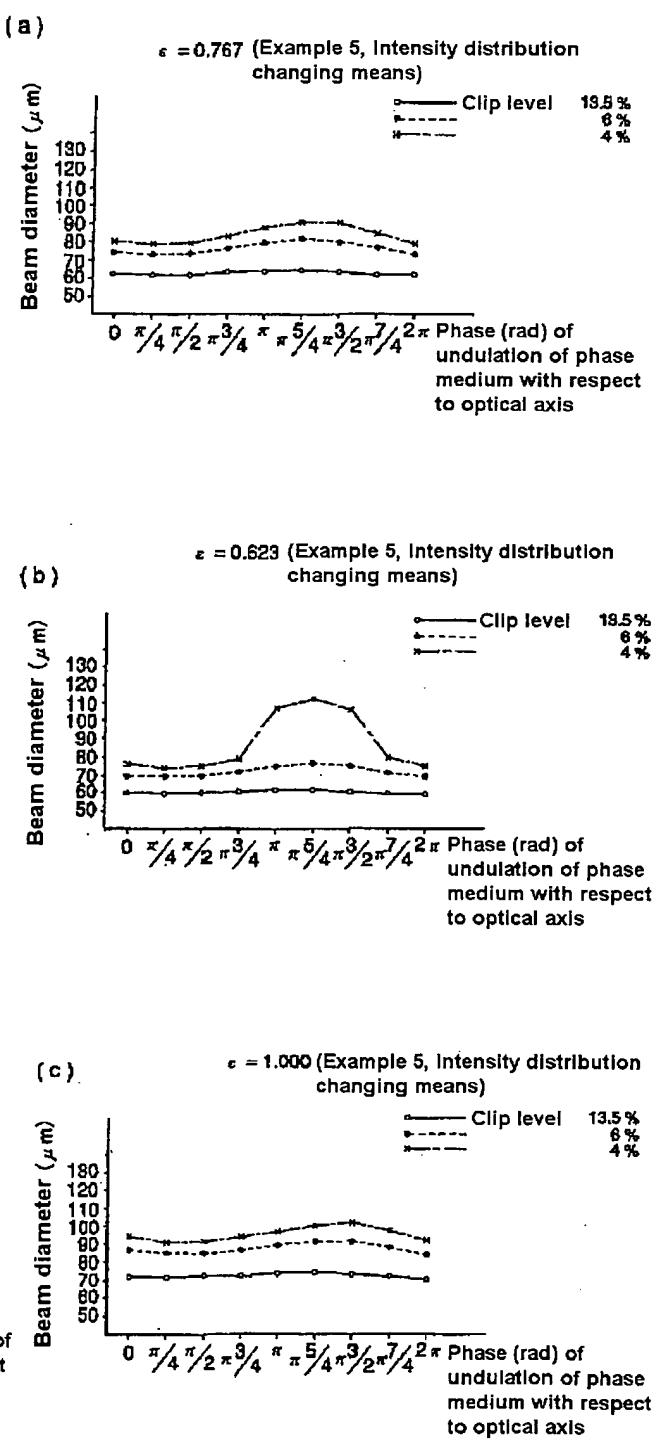
# Fig.20



# Fig.21

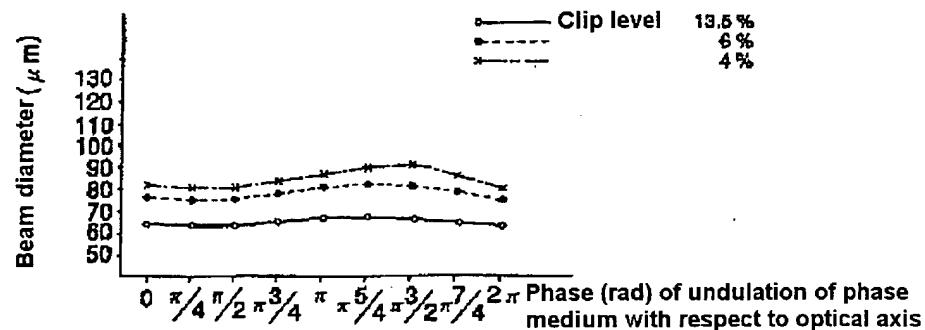


# Fig.22

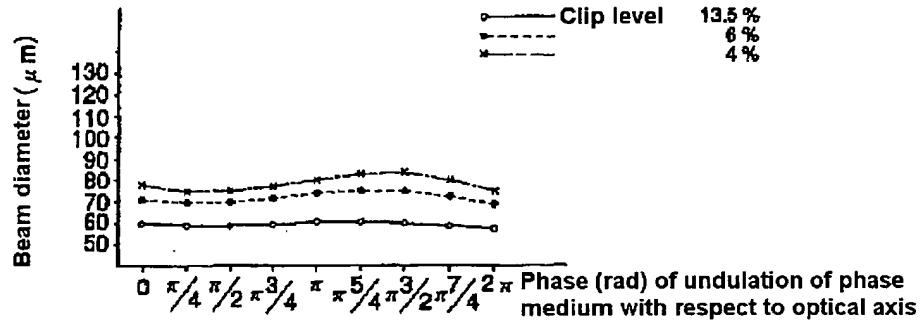


# Fig.23

(a)

 $\epsilon = 0.767$  (Example 6, Intensity distribution changing means)

(b)

 $\epsilon = 0.623$  (Example 6, Intensity distribution changing means)

(c)

 $\epsilon = 1.000$  (Example 6, Intensity distribution changing means)